Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский В.Г., Юрченко В.В.

SCAD Office.
Реализация СНиП в проектирующих программах

издание пятое исправленное и дополненное

электронная версия

Киев • 2024

ISBN 978-617-7031-97-9

Карпиловский В.С. и др.

SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах / Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский В.Г., Юрченко В.В. – СКАД СОФТ, 2024. – 724 с.

Книга предназначена для пользователей программного обеспечения, входящего в пакет **SCAD Office**, и содержит описание программ **ВеСТ**, **Кристалл**, **АРБАТ**, **Камин**, **Монолит**, **КОМЕТА**, **Декор**, **Пастернак**, **Кросс**, **Откос** и **ЗАПРОС**. Программы **Кристалл**, **АРБАТ** и **Камин** ориентированы на выполнение детальных проверочных расчетов, связанных с проектированием элементов стальных, железобетонных, каменных и армокаменных конструкций. Программа **Монолит** служит для проектирования монолитных ребристых перекрытий. Программа **КОМЕТА** предназначена для экспертизы принятых проектных решений и проектирования наиболее распространенных типов узлов стержневых металлических конструкций зданий и сооружений в промышленном и гражданском строительстве. Программа **Декор** предназначена для выполнения расчетов и проверок элементов и соединений деревянных конструкций. Программа **ВеСТ** предназначена для определения нагрузок и воздействий на элементы строительных конструкций и может быть полезной как при использовании вычислительных комплексов общего назначения, так и таких программ, как **Кристалл** и **АРБАТ**. Программа **Кросс** позволяет по результатам геологических изысканий вычислить первый коэффициент постели (коэффициент Винклера). Программы **Пастернак**, **Откос** и **ЗАПРОС** предназначены для расчета воздействия и поведения грунтов.
Для большинства описанных программ характерна ориентация на строгое и, по возможности, полное выполнение требований, представленных в нормах по проектированию (СНиП, СП, ДБН, EN).
Книга может представлять интерес для студентов соответствующих специальностей и разработчиков аналогичных программ.

Рецензенты: д.т.н., проф. Гордеев В.Н.; д.т.н., проф. Пермяков В.А.

Рекомендовано к печати Ученым советом Украинского научно-исследовательского и проектного института стальных конструкций (УкрНИИпроектстальконструкция).

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

© Коллектив авторов, 2024 г.

Оглавление

От авторов ... 12
1. Общие сведения ... 13
1.1 Принципы разработки ... 13
1.2 Прямая и обратная задачи ... 14
1.3 Область несущей способности элементов конструкций и оценка конструктивного решения ... 14
1.4 Генерация области несущей способности и ее свойства ... 17
1.5 Область несущей способности сечений как инструмент анализа норм проектирования ... 18
1.6 Область несущей способности как инструмент анализа условий нагружения ... 24
1.7 Поверхности взаимодействия ... 25
1.8 Нормы по надежности ... 27
1.9 Учет сейсмики ... 28
1.10 Литература ... 28
2. Общие принципы управления программами ... 29
2.1 Элементы управления ... 29
2.2 Настройки ... 30
2.3 Меню ... 32
2.4 Работа с таблицами ... 32
2.5 Формирование отчета ... 34
2.6 Сохранение и экспорт данных ... 34
3. Программа BeCT ... 35
3.1 Главное окно ... 35
3.2 Параметры ... 37
3.3 Информационные режимы ... 37
3.3.1 Плотности ... 37
3.3.2 Плотности (EN 1991-1-1) ... 38
3.3.3 Местность ... 38
3.3.4 Коэффициенты ... 39
3.3.5 Предельные прогибы ... 40
3.3.6 Сроки эксплуатации ... 41
3.3.7 Нагрузки от транспортных средств ... 41
3.4 Расчетные режимы ... 42
3.4.1 Собственный вес ... 42
3.4.2 Временные нагрузки ... 43
3.4.3 Ветер ... 43
3.4.4 Ветер. Пульсации ... 49
3.4.5 Полный ветер ... 51
3.4.6 Пиковая ветровая нагрузка ... 52
3.4.7 Ветер (EN 1991-1-4) ... 53
3.4.8 Снег. Однопролетные здания ... 56
3.4.9 Снег. Двухпролетные здания ... 59
3.4.10 Снег (EN 1991-1-3) ... 61
3.4.11 Температура ... 63
3.4.12 Температура (EN 1991-1-5) ... 64
3.4.13 Гололедная нагрузка на провода и тросы ... 64
3.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе BeCT ... 66
4. Программа Кристалл ... 68
4.1 Главное окно ... 69
4.2 Настройки ... 71
4.3 Конструирование поперечных сечений ... 72

4.4 Задание расчетных длин ... 76
4.5 Огнестойкость ... 76
4.6 Дополнительные настройки ... 79
4.7 Справочные режимы ... 80
4.7.1 Сталь ... 80
4.7.2 Сортамент металлопроката ... 83
4.7.3 Болты ... 83
4.7.4 Предельные гибкости ... 84
4.7.5 Коэффициенты условий работы ... 85
4.7.6 Материалы для сварки ... 87
4.7.7 Предельные прогибы ... 88
4.7.8 Сортамент листовой стали ... 89
4.7.9 Высокопрочные болты ... 89
4.8 Вспомогательные режимы ... 89
4.8.1 Огибающие ... 89
4.8.2 Линии влияния ... 92
4.8.3 Геометрические характеристики сечений ... 93
4.8.4 Расчетные длины ... 94
4.9 Проверки ... 98
4.9.1 Сопротивление сечений ... 98
4.9.2 Болтовые соединения ... 113
4.9.3 Фрикционные соединения ... 117
4.9.4 Сварные соединения ... 119
4.9.5 Местная устойчивость ... 121
4.9.6 Сопротивление Sin-сечений ... 122
4.10 Проектирование конструктивных элементов ... 125
4.10.1 Фермы ... 125
4.10.2 Элемент фермы ... 131
4.10.3 Балки ... 134
4.10.4 Sin-балки ... 139
4.10.5 Неразрезные балки ... 141
4.10.6 Стойки ... 145
4.10.7 Опорные плиты ... 156
4.10.8 Листовые конструкции ... 157
4.10.9 Перфорированные балки ... 157
4.11 Приложения ... 162
4.11.1 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Кристалл ... 162
4.11.2 О формуле (49) СНиП II-23-81* ... 166
4.11.3 О формуле (14) СНиП II-23-81* ... 166
4.11.4 Расчет «нестандартных» сечений ... 167
4.11.5 О сейсмических воздействиях ... 167
4.11.6 Учет стесненного кручения ... 168
4.12 Литература ... 169
5. Программа Кристалл Eurocode 3 ... 171
5.1 Главное окно ... 171
5.2 Настройки приложения ... 172
5.3 Конструирование поперечных сечений ... 173
5.4 Задание расчетных длин ... 173
5.5 Огнестойкость ... 174
5.6 Дополнительные настройки ... 176
5.7 Справочные режимы ... 177
5.7.1 Сталь ... 177
5.7.2 Сортамент металлопроката ... 178
5.7.3 Болты ... 178

5.8 Вспомогательные режимы 178
5.8.1 Сопротивление сечений 178
5.8.2 Болтовые соединения 185
5.8.3 Сварные соединения 188
5.8.4 Огибающие 190
5.8.5 Критический момент 191
5.8.6 Геометрические характеристики 193
5.9 Проектирование конструктивных элементов 193
5.9.1 Балки 193
5.9.2 Стойки 197
5.9.3 Связи 199
5.9.4 Фермы 200
5.10 Допущения и волевые решения в трактовке Eurocode 3 205
5.10.1 Определение критического момента 205
5.11 Литература 208
6. Программа Магнум 209
6.1 Главное окно 209
6.2 Настройки 212
6.3 Конструирование поперечных сечений 213
6.4 Задание расчетных длин 218
6.5 Дополнительные настройки 218
6.6 Вспомагательные режимы 218
6.6.1 Сталь 218
6.6.2 Сортамент металлопроката 220
6.6.3 Коэффициенты условий работы 221
6.6.4 Предельные прогибы 222
6.7 Вспомагательные режимы 222
6.7.1 Огибающие 222
6.7.2 Линии влияния 224
6.7.3 Геометрические характеристики 225
6.7.4 Расчетные длины 225
6.8 Расчетные режимы 226
6.8.1 Сопротивление сечений 231
6.9 Проектирование конструктивных элементов из холодногнутых профилей 238
6.9.1 Фермы 238
6.9.2 Балки 244
6.9.3 Неразрезные балки 248
6.9.4 Стойки 250
6.9.5 Неразрезные прогоны 254
6.10 Литература 257
7. Программа АРБАТ 258
7.1 Главное окно 258
7.2 Информационные режимы 260
7.2.1 Класс бетона 261
7.2.2 Марка бетона 261
7.2.3 Арматура 261
7.2.4 Коэффициенты условий работы бетона 265
7.2.5 Предельные прогибы 266
7.3 Общие операции 266
7.3.1 Конструирование поперечных сечений 266
7.3.2 Данные о бетоне 267
7.3.3 Данные об арматуре 268
7.3.4 Трещиностойкость 270
7.3.5 Коэффициент надежности по ответственности 271

7.3.6 Огнестойкость ... 271
7.3.7 Дополнительные настройки ... 274
7.4 Экспертиза ... 277
7.4.1 Сопротивление железобетонных сечений ... 281
7.4.2 Сопротивление бетонных сечений ... 287
7.4.3 Экспертиза балки ... 287
7.4.4 Экспертиза однопролетной балки ... 292
7.4.5 Прогиб балки ... 292
7.4.6 Прогиб однопролетной балки ... 294
7.4.7 Экспертиза колонны ... 294
7.4.8 Экспертиза плиты ... 298
7.4.9 Экспертиза плиты (по Карпенко) ... 301
7.4.10 Предельная нагрузка на плиту ... 304
7.5 Местная прочность ... 306
7.5.1 Местное сжатие (СНиП 2.03.01-84*) ... 306
7.5.2 Местное сжатие (СП 52-101-2003, СП 63.13330) ... 308
7.5.3 Продавливание (СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96) ... 310
7.5.4 Продавливание (СП 52-101-2003, СП 63.13330) ... 313
7.5.5 Продавливание (EN 1992-1-1) ... 318
7.5.6 Продавливание около торцов и углов стены (СП 63.13330) ... 324
7.5.7 Отрыв ... 328
7.5.8 Закладные детали ... 331
7.5.9 Короткие консоли ... 335
7.5.10 Шпонки ... 338
7.5.11 Сдвиг полки тавра (EN 1992-1-1) ... 338
7.5.12 Срез по контакту бетонов, уложенных в различное время (EN 1992-1-1) ... 340
7.6 Подбор арматуры ... 340
7.6.1 Подбор арматуры в балке ... 341
7.6.2 Подбор арматуры в однопролетной балке ... 345
7.6.3 Подбор арматуры в колонне ... 346
7.6.4 Подбор арматуры в сечении ... 349
7.6.5 Подбор арматуры в плите (по Карпенко) ... 350
7.7 Геометрические характеристики ... 354
7.8 Анкеровка арматуры ... 354
7.9 Дополнительные сведения о программе АРБАТ ... 355
7.9.1 О сейсмических воздействиях ... 355
7.9.2 Факторы в деформационной и силовой моделях ... 355
7.9.3 Основные принципы подбора арматуры в конечных элементах плиты и оболочки ... 357
7.9.4 Особенности расчетов по EN 1992-1-1 ... 364
7.9.5 Особенности расчетов по ДБН В.2.6-98:2009 ... 365
7.9.6 Расчет круглых сечений ... 366
7.9.7 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе АРБАТ ... 366
7.10 Литература ... 368
8. Программа Камин ... 370
8.1 Общие данные ... 371
8.2 Ограничения реализации ... 372
8.3 Материалы ... 372
8.4 Повреждения ... 373
8.5 Вычисление эксцентриситета ... 374
8.6 Расчетная высота и толщина (EN 1996, ДБН) ... 376
8.7 Учет эксцентриситетов (EN 1996, ДБН) ... 377
8.8 Главное окно программы Камин ... 378
8.8.1 Каменные конструкции ... 378
8.8.2 Армокаменные конструкции ... 379

8.8.3 Реконструируемые конструкции 379
8.8.4 Узлы опирания 379
8.9 Каменные конструкции 381
8.9.1 Центрально сжатые столбы 381
8.9.2 Внецентренно сжатые столбы 382
8.9.3 Наружная стена 384
8.9.4 Стена подвала 387
8.9.5 Перемычки 388
8.9.6 Местная прочность 391
8.10 Армокаменные конструкции 392
8.10.1 Армированные центрально сжатые столбы 394
8.10.2 Армированные внецентренно сжатые столбы 394
8.10.3 Армированная наружная стена 395
8.10.4 Армированная стена подвала 395
8.10.5 Местная прочность армированных конструкций 396
8.11 Реконструируемые конструкции 397
8.11.1 Центрально сжатые столбы, усиленные обоймами 397
8.11.2 Внецентренно сжатые столбы, усиленные обоймами 398
8.11.3 Усиление обоймами стены здания 399
8.11.4 Проем в стене 401
8.12 Узлы опирания 402
8.12.1 Висячие стены 402
8.12.2 Опирание балок и плит на стену 404
8.12.3 Опирание балок и/или ферм на пилястры и столбы 406
8.13 Справочная информация 409
8.13.1 Объемные веса 409
8.13.2 Классификация повреждений 409
8.14 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Камин 410
8.15 Литература 420
9. Программа КОМЕТА 421
9.1 Общие сведения 421
9.2 Алгоритм принятия решений 422
9.3 Главное окно 425
9.4 Информационные режимы 426
9.4.1 Сталь 426
9.4.2 Сортамент металлопроката 429
9.4.3 Сортамент листовой стали 430
9.4.4 Материалы для сварки 430
9.4.5 Коэффициенты условий работы 432
9.4.6 Болты 433
9.4.7 Высокопрочные болты 434
9.4.8 Фундаментные болты 434
9.4.9 Нормали для стыковки элементов 436
9.4.10 Риски 436
9.4.11 Класс бетона 437
9.4.12 Марка бетона 437
9.5 Расчетные режимы 438
9.5.1 Жесткие базы колонн 438
9.5.2 Шарнирные базы колонн 447
9.5.3 Стыки балок 456
9.5.4 Узлы ферм 465
9.5.5 Сопряжение ригеля с колонной 483
9.5.6 Типовые узлы 493
9.6 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе КОМЕТА 494
9.7 Литература 498

10. Программа КОМЕТА Eurocode 3 499
10.1 Общие сведения 499
10.2 Главное окно 500
10.3 Информационные режимы 501
10.3.1 Сталь 501
10.3.2 Сортамент металлопроката 501
10.3.3 Болты 502
10.3.4 Класс прочности бетона (EN 1992) 503
10.4 Расчетные режимы 504
10.4.1 Жесткие базы колонн 504
10.4.2 Шарнирные базы колонн 512
10.4.3 Стыки балок 518
10.4.4 Узлы ферм 526
10.4.5 Сопряжение ригеля с колонной 539
10.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе КОМЕТА Eurocode 3 550
11. Программа Монолит 551
11.1 Предварительные сведения 551
11.1.1 Проектирование ребристых перекрытий 551
11.1.2 Общая схема перекрытия 552
11.1.3 Балки 552
11.1.4 Плиты 552
11.1.5 Колонны 553
11.2 MDI интерфейс 553
11.2.1 Главное окно 554
11.2.2 Инструментальные панели в режиме ввода исходных данных 557
11.3 Создание нового проекта 560
11.3.1 Настройка параметров проекта 561
11.3.2 Дерево управления проектом 562
11.3.3 Загрузка существующего проекта 563
11.3.4 Передача данных из препроцессора Форум в программу Монолит 563
11.3.5 Сохранение проекта 565
11.3.6 Управление окнами в многооконной среде 565
11.3.7 Подготовка исходных данных 565
11.3.8 Работа с таблицами 566
11.3.9 Операции с отмеченными строками таблицы 567
11.3.10 Использование повторителей 567
11.3.11 Описание координационных осей 568
11.3.12 Ввод характеристик материалов 568
11.3.13 Узлы 569
11.3.14 Колонны 570
11.3.15 Балки 570
11.3.16 Стены 571
11.3.17 Плиты 572
11.3.18 Отверстия 572
11.3.19 Армирование плит (ребристые перекрытия) 573
11.3.20 Армирование балок 575
11.3.21 Армирование колонн 577
11.3.22 Разбиение плит балками 579
11.3.23 Контроль исходных данных 579
11.4 Конструирование 580
11.4.1 Выходные документы 581
11.5 Информационные режимы 589
11.6 Литература 589

12. Программа Декор 590
12.1 Главное окно 590
12.2 Информационные режимы 591
12.2.1 Предельные прогибы и деформации 591
12.2.2 Плотности 592
12.2.3 Сортамент древесины 592
12.2.4 Расчетные сопротивления 593
12.2.5 Древесина 594
12.2.6 Предельные гибкости 594
12.3 Расчет 595
12.3.1 Общие операции 595
12.3.2 Геометрические характеристики 597
12.3.3 Расчетные длины 598
12.3.4 Сопротивление соединений 598
12.3.5 Сопротивление сечений 600
12.3.6 Неразрезные прогоны 604
12.3.7 Консольно-балочные прогоны 607
12.3.8 Балки 609
12.3.9 Стойки 610
12.3.10 Фермы 613
12.3.11 Элемент фермы 616
12.3.12 Арки 617
12.3.13 Наслонные стропила 620
12.3.14 Рамы 623
12.4 Особенности реализации СП 64.13330 625
12.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Декор 625
12.6 Литература 626
13. Программа Кросс 627
13.1 Система координат 627
13.2 Файлы, создаваемые программой 627
13.3 Структура модели и исходные данные 627
13.4 Многооконная среда 628
13.5 Сохранение рабочей среды 628
13.6 Элементы управления 629
13.6.1 Окно программы 629
13.6.2 Параметры настройки 630
13.6.3 Меню 630
13.6.4 Строка состояния 632
13.6.5 Курсоры 632
13.7 Операции 633
13.7.1 Новый 633
13.7.2 Открыть 633
13.7.3 Сохранить 633
13.7.4 Сохранить как... 634
13.7.5 Импорт 634
13.7.6 Расчет 635
13.7.7 Отчет 635
13.7.8 Поля 636
13.7.9 Дополнительные точки 637
13.7.10 Осадки подошвы плиты 637
13.7.11 Сохранить изображение 637
13.7.12 Отмена 637
13.7.13 Восстановить 637
13.7.14 Габариты 638

13.7.15 Фундаментная плита ... 638
13.7.16 Корректировка контура плиты ... 639
13.7.17 Существующее здание ... 639
13.7.18 Проем ... 639
13.7.19 Назначить фундаментную плиту ... 640
13.7.20 Удалить ... 640
13.7.21 Сгладить угол ... 640
13.7.22 Переместить ... 641
13.7.23 Переместить вершины ... 641
13.7.24 Таблица вершин ... 642
13.7.25 Удалить вершины ... 642
13.7.26 Нагрузка и отметка подошвы ... 642
13.7.27 Создать область с дополнительной нагрузкой ... 643
13.7.28 Удалить область с дополнительной нагрузкой ... 643
13.7.29 Изменить нагрузку на область ... 643
13.7.30 Добавить точку с дополнительной нагрузкой ... 644
13.7.31 Удалить точку с дополнительной нагрузкой ... 644
13.7.32 Точки с дополнительной нагрузкой ... 644
13.7.33 Поле нагрузок ... 644
13.7.34 Создать скважину ... 644
13.7.35 Удалить скважину ... 644
13.7.36 Параметры скважин ... 645
13.7.37 Точка расчета сжимаемой толщи ... 648
13.7.38 Сброс операции ... 648
13.7.39 Разрез ... 648
13.7.40 Объемное отображение грунтового массива ... 651
13.7.41 Измерение расстояний ... 652
13.7.42 Начало координат ... 653
13.7.43 Шаг сетки ... 653
13.7.44 Сетка ... 653
13.7.45 Поля для зданий ... 654
13.7.46 Увеличение и уменьшение масштаба изображения ... 654
13.7.47 Лупа ... 654
13.7.48 Увеличить изображение ... 655
13.7.49 Исходный масштаб ... 655
13.7.50 Вызов справки ... 655
13.7.51 О программе ... 656
13.8 Литература ... 656
14. Программа Пастернак ... 657
14.1 Управление программой ... 657
14.2 Расчет ... 658
14.3 Литература ... 658
15. Программа Откос ... 660
15.1 Управление программой ... 661
15.2 Подготовка исходных данных ... 661
15.2.1 Страница Общие параметры ... 661
15.2.2 Страница Грунты ... 662
15.2.3 Страница Скважины ... 662
15.2.4 Страница Нагрузки ... 664
15.3 Расчет и отображение результатов расчета ... 665
15.4 Литература ... 666
16. Программа ЗАПРОС ... 667
16.1 Главное окно ... 667
16.2 Информационные режимы ... 669

16.2.1 Предельные деформации оснований ... 669
16.2.2 Расчетные сопротивления грунтов оснований ... 669
16.2.3 Характеристики грунтов ... 670
16.2.4 Коэффициенты условий работы ... 670
16.3 Фундаменты ... 671
16.3.1 Крен фундамента ... 671
16.3.2 Осадка фундамента ... 674
16.3.3 Коэффициенты постели ... 678
16.3.4 Предельное давление при расчете деформаций ... 680
16.4 Сваи ... 681
16.4.1 Коэффициенты условий работы свай ... 681
16.4.2 Номенклатура свай ... 681
16.4.3 Расчет несущей способности сваи ... 681
16.4.4 Расчет сваи ... 685
16.4.5 Осадка сваи ... 687
16.5 Полевые испытания свай ... 689
16.5.1 Динамические испытания свай ... 689
16.5.2 Испытание эталонной сваей ... 690
16.5.3 Испытание сваей-зондом ... 692
16.5.4 Статическое зондирование ... 693
16.6 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе ЗАПРОС ... 695
16.7 Литература ... 696
17. Приложения ... 698
17.1 Сервисные функции ... 698
17.1.1 Вычисление по формулам ... 698
17.1.2 Преобразование единиц измерения ... 700
17.1.3 Дискретная арматура ... 700
17.2 Список сортаментов прокатных профилей, поставляемых с пакетом программ ... 701
17.2.1 Сортамент Челябинского металлургического комбината ... 701
17.2.2 ГОСТ ... 701
17.2.3 Сокращенный сортамент ... 704
17.2.4 Старые сортаменты ... 704
17.2.5 ASTM ... 705
17.2.6 Великобритания — стандартные профили (British Standard Sections) ... 705
17.2.7 Великобритания — импортируемые профили (Overseas Shapes) ... 706
17.2.8 Arbed ... 706
17.2.9 Сварные профили ... 706
17.2.10 OTUA ... 707
17.2.11 DIN ... 708
17.2.12 Индийский сортамент ... 708
17.2.13 Японский сортамент ... 708
17.2.14 Сортамент Польши ... 708
17.2.15 Сортамент Китая ... 709
17.2.16 Профили холодногнутые ... 709
17.2.17 Профили холодногнутые стальные оцинкованные ... 710
17.2.18 Холодногнутые профили украинских производителей ... 710
17.3 Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит 711
17.4 Литература ... 719
Нормативная литература ... 720

От авторов

Пакет программ для проектирования элементов стальных, железобетонных и каменных конструкций разработан авторским коллективом ***SCAD Soft*** в составе: Белокопытова И.А., Гавриленко И.С., Гиренко С.В., Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Лицман П.Н., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Рудь Д.Н., Семенцов А.И., Юрченко В.В.

Авторский коллектив разработчиков программ и авторы книги выражают благодарность А.В. Варанице (г. Винница), И.К. Вишницкому (ТЭП, г. Москва), Б.А. Воробьеву (Петростройсистема, г. Санкт-Петербург), О.В. Кабанцеву (МГСУ, г. Москва), О.И. Калоше (Минскпроект, г. Минск), Л.Б. Кацнельсону (ЦНИИСК, г. Москва), А. Кораблеву (IN RE, г. Вильнюс), В.И. Кретову (НИИСК, г. Киев), В.В. Куликову (Мосинжпроект, г. Москва), Н.В. Мосиной (СКАД Софт, г. Москва), Т.Е. Прохоровой (Промстройпроект, г. Москва), С.Ю. Решетникову (Краснодарпроект, г. Краснодар) за критические замечания и предложения, способствовавшие разработке и развитию пакета программ.

Авторы благодарны И.Ф. Лайкиной за терпение и труд, вложенные в подготовку книги к печати.

1. Общие сведения

1.1 Принципы разработки

В основу разработки программ, описание которых приведено в этой книге, положен общий принцип — ориентация на достаточно строгое и, по возможности, полное выполнение всех требований, представленных в нормах по проектированию стальных, железобетонных, каменных и деревянных конструкций. Появление этих программ связано с тем, что система **SCAD** [1], являясь универсальным вычислительным комплексом, предназначенным в большей степени для расчета систем в целом, не оперирует той детализированной информацией о конструктивных решениях, которая требуется в процессе конструирования.

Программы **Кристалл**, **АРБАТ**, **Декор**, **КОМЕТА**, **ЗАПРОС** и **Камин** ориентированы на выполнение детальных проверочных расчетов несущих строительных конструкций в соответствии с действующими нормами. Они работают автономно, однако связаны со **SCAD** подходом к проблеме и общностью некоторых функций. Разработчики программ не ставили перед собой цели получения с их помощью проектной (точнее, конструкторской) документации, ограничившись выполнением детальной проверки заданной конструкции (заметим, что строительные нормы и правила — СНиП — построены как проверочные системы).

Имея в виду, что пользователем программ может быть не только опытный проектировщик, но и начинающий инженер, разработчики старались создать такие программные продукты, которые могли бы предохранить пользователя от пропуска любой из многочисленных проверок, представленных в нормах проектирования. В частности, набор конструктивных решений продиктован, в числе прочего, и тем, что рассматриваются только такие конструкции, для которых нормы проектирования полностью обозначили все требования. Если хотя бы одно из них нельзя точно определить (например, проверить в программе **Кристалл** устойчивость плоской формы изгиба уголкового элемента), то такие конструкции исключались полностью или для них ограничивался список возможных режимов работы программ. В этом смысле программы выступают в роли придирчивого эксперта.

Таким образом, набор главных идей, положенных в основу разработки программ, можно сформулировать так:

- пользователь должен быть уверен, что программа проведет исчерпывающую и строгую экспертизу в соответствии с требованиями норм проектирования и в ней будут реализованы только положения норм, а другие (быть может, весьма разумные) проектные идеи и процедуры не будут применяться;
- пользователь не должен быть связан необходимостью поиска основной справочной и нормативной информации, она должна присутствовать в базе данных программы;
- пользователю предоставляется возможность детального анализа результатов экспертизы, и за ним оставляется право принятия решений по изменению и улучшению конструктивного решения.

Программа **Монолит** служит для проектирования монолитных ребристых перекрытий, и результатом ее работы, в отличие от других программ, является комплект проектной документации. В качестве исходных данных в ней могут быть использованы результаты подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций, полученные с помощью как **SCAD**, так и других программ. Правила проектирования, заложенные в программу, взяты из нескольких источников. В основном, это СНиП, пособия и руководства по проектированию, но некоторые решения, не противоречащие нормам, предложены опытными проектировщиками.

Программа **ВеСТ** предназначена для определения нагрузок и воздействий на элементы строительных конструкций и может быть полезной при использовании как комплексов типа **SCAD**, так и таких программ, как **Кристалл**, **АРБАТ** и **Камин**. Именно эта универсальность и позволила ей занять «почетное первое место» на страницах этой книги.

К числу вспомогательных программ, предназначенных для предварительного определения расчетных параметров, относится и программа **Кросс**, которая позволяет по результатам геологических изысканий вычислить первый коэффициент постели (коэффициент Винклера).

1.2 Прямая и обратная задачи

Нормы проектирования строительных конструкций построены как система проверок известного конструктивного решения, т.е. они решают задачу оценки конструкций, а не проблему ее синтеза. Конструкторские программы **Кристалл, Комета** и **АРБАТ** нацелены на решение обеих упомянутых проблем – задачи оценки и задачи подбора. Но последняя проблема (подбор) решается в ограниченной постановке как целенаправленный перебор по списку возможных конструктивных решений.

Так, например, при проектировании стальных конструкций в программе **Кристалл** подбираются сечения из указанного сортамента профилей и производится выбор сечения с наименьшим расходом стали.

Описанный подход к подбору (синтезу) поперечного сечения приводит к решениям, которые по той или иной причине (конструктивным соображениям, унификации и др.) могут не удовлетворить проектировщика. Он имеет возможность скорректировать решение, предлагаемое программой, и оперативно провести его проверку в режиме экспертизы.

1.3 Область несущей способности элементов конструкций и оценка конструктивного решения

Нормативные требования (условия прочности, общей и местной устойчивости, гибкости и т.п.), предъявляемые к некоторому элементу конструкции, можно записать в виде некоторого набора ограничений-неравенств, каждое из которых функционально зависит от значений внутренних усилий $\vec{S} = \{S_1, S_2, ..., S_n\}$, которые могут возникать в рассматриваемом сечении от действия комбинаций нагружений:

$$\mathbf{\Phi}\left(\vec{S}, \vec{R}\right) \le 1;$$

или

$$\begin{cases} f_1\left(\vec{S}, \vec{R}\right) \le 1; \\ f_2\left(\vec{S}, \vec{R}\right) \le 1; \\ \quad ... \\ f_j\left(\vec{S}, \vec{R}\right) \le 1; \\ \quad ... \\ f_m\left(\vec{S}, \vec{R}\right) \le 1; \end{cases}$$

где n – общее количество возможных внутренних усилий; m – количество неравенств, описывающих требования норм проектирования; f_j – функция основных переменных, реализующая *j*-ю проверку; $\vec{R}$ – обобщенные сопротивления.

Ориентируясь на значения функций $K_j = f_j\left(\vec{S}, \vec{R}\right)$, можно ввести понятие **коэффициента использования ограничения**, и приведенный критерий обеспечения несущей способности элемента конструкции представить в виде:

$$K_{\max} = \max\left\{K_j \mid j = 1, ..., m\right\} \le 1,$$

где K_j – левая часть расчетного неравенства

$$f_j\left(\vec{S},\vec{R}\right)\le 1,$$

включающего нормативные проверки. Само значение K_j при этом определяет для элемента конструкции (сечения, соединения, узла и т.п.) имеющийся запас прочности, устойчивости или другого нормируемого параметра обеспечения несущей способности. Если требование норм выполняется с запасом, то коэффициент K_j равен относительной величине исчерпания нормативного требования (например, K_j = 0,7 соответствует 30%-му запасу). При невыполнении требований норм значение $K_j > 1$ свидетельствует о нарушении того или иного требования, т.е. характеризует степень перегрузки.

Каждое нормативное требование $f_j\left(\vec{S},\vec{R}\right)\le 1$ определяет некоторую область $\mathbf{\Omega}_j$ в n-мерном пространстве внутренних усилий, а пересечение всех областей $\mathbf{\Omega}_j$ образует область несущей способности элемента конструкции $\mathbf{\Omega}$ в терминах рассматриваемых норм проектирования (рис. 1.3-1). Для каждой точки области несущей способности максимальный коэффициент использования ограничений $K_{\max}=\max\left\{K_j \mid j=1,...,m\right\}\le 1$.

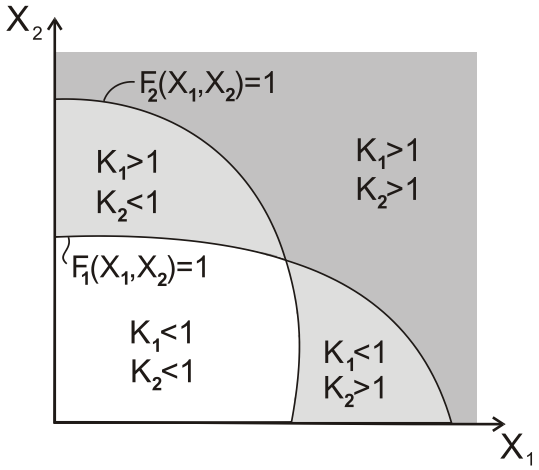


Рис. 1.3-1. Геометрическая иллюстрация формирования области несущей способности в двухмерном пространстве внутренних усилий

Как правило, нормативные ограничения записывают как:

$$\varphi_j\left(\vec{S}\right)\le\psi_j\left(\vec{R}\right),\ (j=1,\ \ldots,m),$$

где φ_j, ψ_j – функции основных переменных, реализующие j-ю проверку.

Однако не всегда эти требования можно или нужно переписать в виде:

$$f_j\left(\vec{S},\vec{R}\right)\le 1,\ (j=1,\ldots,\ m),\ \text{где}$$

$$f_j\left(\vec{S},\vec{R}\right)=\frac{\varphi_j(\vec{S})}{\psi_j(\vec{R})},$$

то есть **в виде отношения левой части нормативного неравенства к его правой части**.

Чтобы проиллюстрировать сказанное рассмотрим в качестве примера формулу (8.78) СП 63.13330:

$$T\le T_0\sqrt{1-\left(\frac{M}{M_0}\right)^2}\ .$$

Если бы в качестве значения коэффициента использования данной нормативной проверки вычислялось отношение:

$$\frac{T}{T_0\sqrt{1-\left(\frac{M}{M_0}\right)^2}} \le 1,$$

то в расчетной ситуации, когда $M > M_0$, мы в знаменателе получали бы корень из отрицательного числа и не смогли бы получить количественную оценку превышения несущей способности, чего удается избежать преобразовав формулу (8.78) следующим образом:

$$\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_0}\right)^2 \le 1.$$

Другим примером может служить формула (8.10) СП 63.13330

$$N \cdot e \le R_b \cdot b \cdot x(h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \ (h_0 - a'),$$

для которой так же нельзя в качестве фактора использовать отношение левой и правой частей, поскольку высота сжатой зоны *x* зависит от продольной силы.

Численное значение фактора (значение коэффициента использования нормативного ограничения) **является мерой того, на сколько полно использована (или превышена) несущая способность** элемента конструкции, и, как следствие, позволяет проектировщику принять правильное решение о типе необходимой модификации конструкции **и только!** К примеру, вряд ли имеет смысл принимать другую марку стали с большим расчетным сопротивлением в том случае, когда критической оказалась проверка устойчивости.

Необходимо особо подчеркнуть, что может не существовать прямой пропорциональности между значением фактора и значениями усилий, фигурирующих в нормативной проверке, как и может не существовать прямой пропорциональности между значением фактора и значениями геометрических характеристик сечений элементов конструкций. Это обусловлено **нелинейностью нормативных проверок**, в частности, нелинейностью функции коэффициента продольного изгиба и т.д.

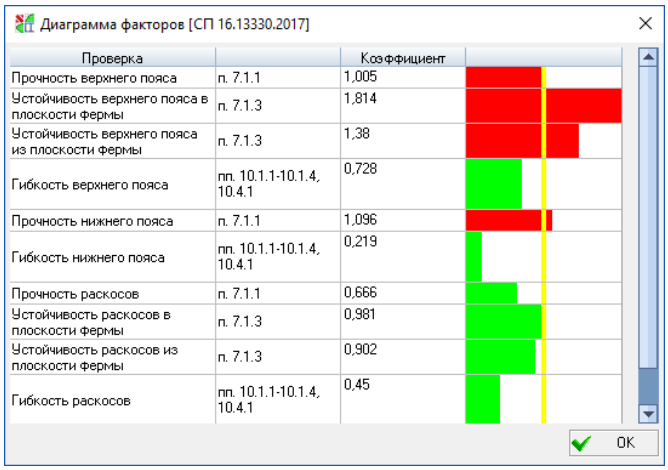


Рис. 1.3-2. Пример **Диаграммы факторов**

Все полученные в результате проверок значения коэффициентов K_j доступны для анализа в диалоговом окне **Диаграмма факторов** (рис. 1.3-2) или же в полном отчете о проведенной проверке. В рабочих диалоговых окнах выводится значение K_{max} – максимального (т.е. наиболее опасного) из обнаруженных значений K_j и указывается тип проверки (например, прочность, устойчивость), при которой этот максимум реализовался.

1.4 Генерация области несущей способности и ее свойства

В программном комплексе **SCAD Office** автоматизированное построение областей несущей способности для соединений и сечений несущих стержневых элементов железобетонных, стальных, деревянных и каменных конструкций предусмотрено программами **АРБАТ, КРИСТАЛЛ**, **ДЕКОР** и **КАМИН** соответственно, а для узлов стальных конструкций – программой **КОМЕТА**.

Для стержневых элементов строительных конструкций, в сечениях которых под нагрузкой могут возникать шесть внутренних усилий (продольная сила, изгибающие моменты, поперечные силы, а также крутящий момент), область несущей способности представляет собой шестимерный геометрический объект, который трудно анализировать. Наиболее наглядно отобразить область несущей способности сечений можно с помощью ее ортогонального проецирования на некоторую плоскость (пару) внутренних усилий. Автоматизированное построение двумерной проекции области несущей способности сечения выполняется следующим образом.

Пользователем выбирается пара внутренних усилий (например, пара «продольная сила N – изгибающий момент M_y»), в системе координат которой будет построена ортогональная проекция области несущей способности. Остальные внутренние усилия в сечении (M_z, Q_y, Q_z, M_x) фиксируются на некотором уровне (задаются пользователем или принимают нулевые значения). При некотором фиксированном значении отношения $e = M_y/N$ разыскивается ближайшая к началу координат точка, где некоторое неравенство из набора $\mathbf{\Phi}\left(\vec{S},\vec{R}\right)\le 1$ принимает предельное значение $f_j\left(\vec{S},\vec{R}\right)=1$. Такая точка принадлежит границе двумерной ортогональной проекции области несущей способности сечения.

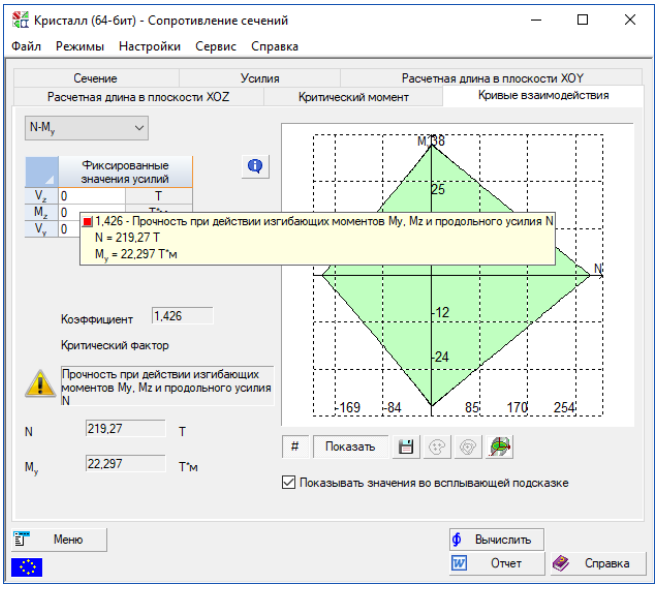


Рис. 1.4-1. Интерактивный режим исследования области несущей способности сечения

Представленный способ автоматизированного построения области несущей способности предполагает, что область обладает свойством звездности, что является гипотезой, с одной стороны, и ограничением программной реализации, с другой стороны.

Кроме того, построенная область является интерактивным инструментом общения с пользователем. С помощью курсора мыши можно исследовать двухмерную проекцию области. Каждому положению курсора соответствует определенный набор внутренних усилий, значения которых отображаются в соответствующих полях. В зависимости от изменения положения курсора (изменения значений для

соответствующей пары внутренних усилий) выводится максимальное значение коэффициента использования нормативных ограничений-неравенств $K_{\max}$, соответствующее этим усилиям, а также тип нормативного неравенства, для которого он вычислен (рис. 1.4-1). Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть весь список выполненных проверок и значений коэффициентов использования ограничений $K_j\ (j=\overline{1,m})$ для того набора внутренних усилий, который соответствует положению курсора. Кроме того, программа обеспечивает также следующие операции с мышью:

- при вращении колеса мыши происходит изменение масштаба изображения;
- нажатие средней кнопки мыши (колеса) и перемещение курсора приводит к сдвигу изображения.

Одним из важнейших свойств области несущей способности является выпуклость. Заметим, что именно выпуклость области несущей способности сечения дает нам право в линейном расчете ограничиться проверками такого сечения на действие только тех сочетаний внутренних усилий в сечении, для которых характерны экстремальные (минимальные или максимальные) значения. Положительный результат таких проверок автоматически означает, что и все другие мыслимые комбинации нагрузок окажутся допустимыми.

Отсутствие свойства выпуклости области несущей способности для рассматриваемого сечения может привести ко многим неприятным последствиям, связанным с тем обстоятельством, что по традиции оценивая невыгодные сочетания внутренних усилий, инженеры либо вообще не рассматривают некоторые воздействия (в том случае, когда они оказывают разгружающее действие), либо учитывают их полностью. Это правило целиком справедливо для выпуклой области несущей способности, в то время, как для невыпуклой области невыгодным может оказаться сочетание с промежуточными (не экстремальными) значениями внутренних усилий.

1.5 Область несущей способности сечений как инструмент анализа норм проектирования

При автоматизированном построении области несущей способности сечения выполняется несколько тысяч расчетов, что является, по-видимому, наиболее массовой проверкой рассматриваемого сечения. Кроме того, форма области несущей способности сечения, а также характер ее границ позволяет во многих случаях более детально проанализировать требования норм проектирования, нежели это удается сделать другими способами. Анализ формы области позволяет выполнить проверку непротиворечивости, согласованности и полноты нормативных требований. При этом легко выявляются противоречивость отдельных положений нормативного документа, а также их нестыковки, в частности негладкость сопряжения используемых аппроксимаций.

СП 16.13330 Металлические конструкции

В качестве примера рассмотрим нормы проектирования стальных конструкций СП 16.13330. Будем строить область несущей способности для поперечного сечение в виде симметричного сварного двутавра со стенкой 400×10 мм и полками 200×10 мм из стали с расчетным сопротивлением R_y = 2050 кг/см^2. Расчетная длина стержня в обеих главных плоскостях инерции составляет 600 см, коэффициент условий работы и коэффициент надежности по назначению приняты равными γ_c = 1,0 и γ_n = 1,0. Область несущей способности $\mathbf{\Omega}_{\text{СНиП}}$ такого сечения в соответствии с нормами СП 16.13330 приведена на рис. 1.5-1.

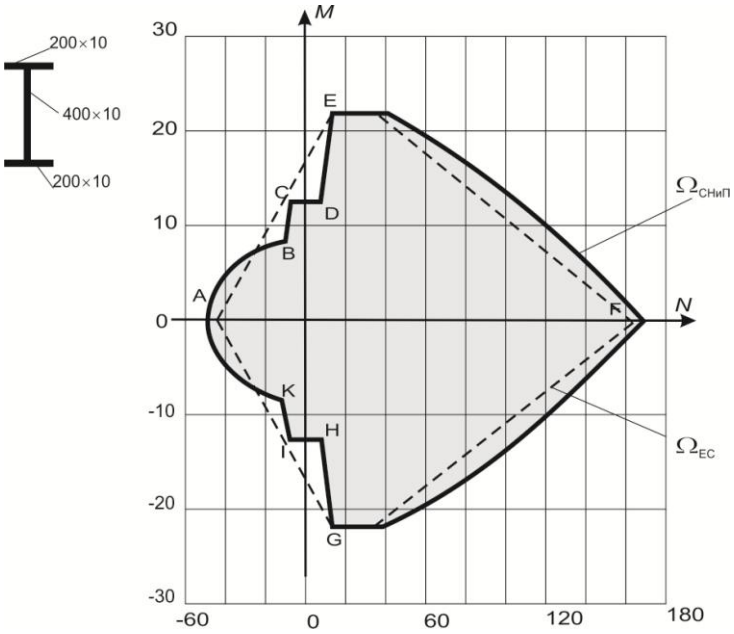


Рис. 1.5-1. Область несущей способности стального сечения:
$\mathbf{\Omega}_{СНиП}$ – по СП 16.13330; $\mathbf{\Omega}_{EC}$ – по EN 1993-1-1:2005

Граница области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{СНиП}$ на участке *DEFGH* определяется условием прочности при совместном действии растяжения и изгиба, на участках *CD* и *IH* – условием устойчивости плоской формы изгиба, а на участке *IKABC* – условием устойчивости из плоскости действия изгибающего момента.

Невыпуклость области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{СНиП}$ в районе участка *IKABC* связана со сменой типа зависимости коэффициента *c* от величины относительного эксцентриситета *m*, входящего в условие проверки устойчивости сжато-изгибаемого стержня из плоскости изгиба. Графики $c = \boldsymbol{c}(m_x)$ для трех значений расчетной длины рассматриваемого стержня из плоскости изгиба приведены на рис. 1.5-2, на котором виден характерный излом при значении относительного эксцентриситета $m_x = 10$, где функция $\boldsymbol{c}(m_x)$ меняется с линейной на гиперболическую. Указанный излом соответствует точкам *K* и *B* области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{СНиП}$ (рис. 1.5-1).

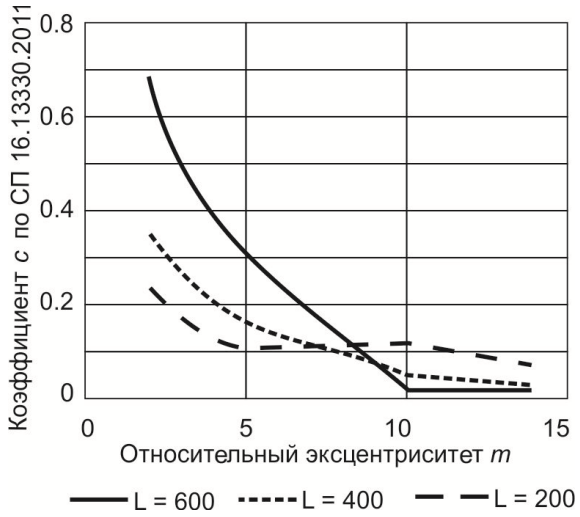


Рис 1.5-2. Зависимость коэффициента *c* от относительного эксцентриситета *m*

Необходимо заметить, что невыпуклость области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{\text{СНиП}}$ в районе участка *IKABC* не проявляется при малых гибкостях элемента из плоскости изгиба, несмотря на то, что излом кривой $c = \boldsymbol{c}(m)$ не исчезает, но для таких расчетных случаев условие устойчивости из плоскости действия изгибающего момента не является определяющим.

Конфигурация участков *CDE* и *IHG* области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{\text{СНиП}}$ определяется указанием норм на то, что устойчивость плоской формы изгиба стержня надлежит проверять только при значениях относительного эксцентриситета $m_x > 20$, когда проверка устойчивости такого стержня должна выполнятся как для изгибаемого элемента. Этим значениям m_x соответствуют участки границы *DC* и *JK* области несущей способности $\mathbf{\Omega}_{\text{СНиП}}$ (рис. 1.5-1).

EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3. Design of Steel Structures

На рис. 1.5-1 пунктиром показана область несущей способности $\mathbf{\Omega}_{\text{EC}}$ поперечного сечения, вычисленная в соответствии с требованиями EN 1993-1-1:2005. Область несущей способности для указанного сечения оказывается выпуклой, поскольку сечение работает в границах упругих деформаций стали.

На рис. 1.5-3 приведена область несущей способности стального двутаврового сечения со стенкой 800×10 мм и полками 360×20 мм и 240×20 мм, построенная в соответствии с требованиями EN 1993-1-1:2005. Тут невыпуклость области несущей способности сечения связана с требованиями EN 1993-1-1:2005, касающимися классификации сечений. При напряженном состоянии, соответствующем появлению сжимающих напряжений в одной из полок, сечение перестает классифицироваться как сечение 2-го класса (пластические деформации стали, расчет с использованием пластического момента сопротивления) и переходит в 3-й класс сечений (упругие деформации стали, расчет с использованием упругого момента сопротивления). Этим переходам соответствуют скачки *AB* и *CD*. Аналогичное поведение границы области несущей способности может реализоваться при переходе сечения из 3-го класса в 4-й.

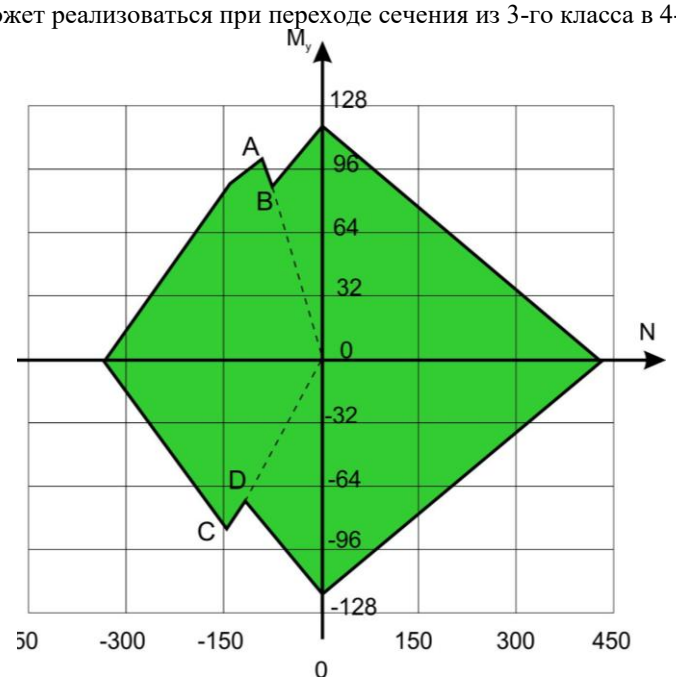


Рис. 1.5-3. Область несущей способности стального сечения по EN 1993-1-1

СП 63.13330 Железобетонные конструкции

Рассмотрим прямоугольное железобетонное сечение с размерами 700 мм × 200 мм, армированное 2 стержнями арматуры ∅ 28 мм. Области несущей способности такого сечения, соответствующие двум вариантам нормативных требований по обеспечению трещиностойкости, приведены на рис. 1.5-4 в осях «продольная сила N – изгибающий момент M_y». Область $\mathbf{\Omega}_1$ построена с учетом нормативного ограничения ширины раскрытия трещин, а область $\mathbf{\Omega}_2$ – с учетом запрета трещинообразования. При этом следует отметить, что обе методики нормативной проверки железобетонных сечений на трещиностойкость являются полуэмпирическими. Рассмотрим, с чем связана невыпуклость области несущей способности железобетонного сечения.

Скачок AB, который характерен для обеих областей несущей способности $\mathbf{\Omega}_1$ и $\mathbf{\Omega}_2$, определяется постулатом теории железобетона, предусматривающим мгновенное исключение из работы растянутой зоны бетона при появлении растягивающих напряжений в нем.

Скачок BC характерен только для области несущей способности железобетонного сечения $\mathbf{\Omega}_2$, построенной с учетом запрета трещинообразования. В данном случае область $\mathbf{\Omega}_2$ резко сужается, что является вполне ожидаемым и, кроме того, приобретает весьма изощренную форму, обусловленную новой методикой проверки железобетонных элементов на трещиностойкость, которая появилась в редакции норм 2004 года.

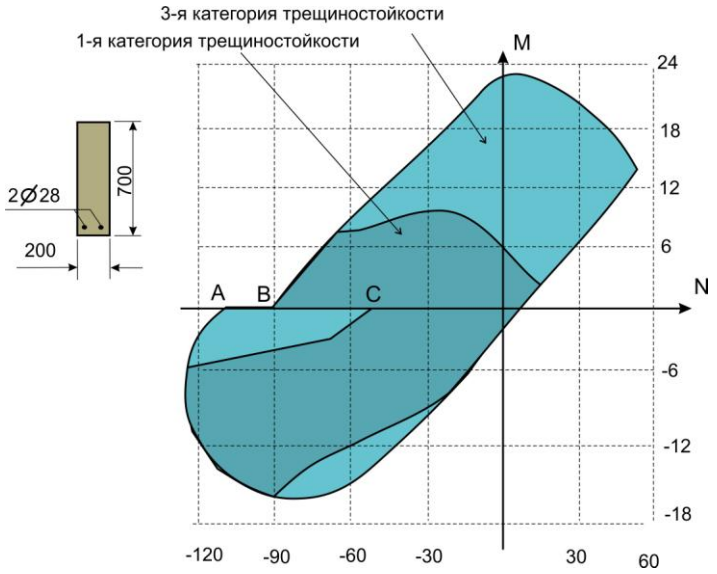


Рис. 1.5-4. Области несущей способности железобетонного сечения по СП 63.13330:
$\mathbf{\Omega}_1$ – при ограничении ширины раскрытия трещин (3-я категория трещиностойкости);
$\mathbf{\Omega}_2$ – при запрете образования трещин (1-я категория трещиностойкости)

Другой поучительный пример представлен на рис. 1.5-5, где показана область несущей способности железобетонного сечения, рассчитанного по нелинейной деформационной модели без учета (вариант *a*) и с учетом (вариант *b*) случайного эксцентриситета. Очевидна «нефизичность» учета этого эксцентриситета в варианте, представленном в нормах проектирования, поскольку нет никакой физической модели нарушающей гладкость границы области несущей способности. Указание норм таково, что для статически неопределимой системы значение эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения e_0 принимают равным значению эксцентриситета e, полученного из статического расчета, но не менее некоторой фиксированной величины случайного эксцентриситета e_a, а для статически определимой системы эксцентриситет e_0 принимают равным величине $e + e_a$. В обоих случаях при малых

значениях эксцентриситета e рассматривается внецентренно сжатый элемент, при этом эксцентриситет e_0 не бывает малым.

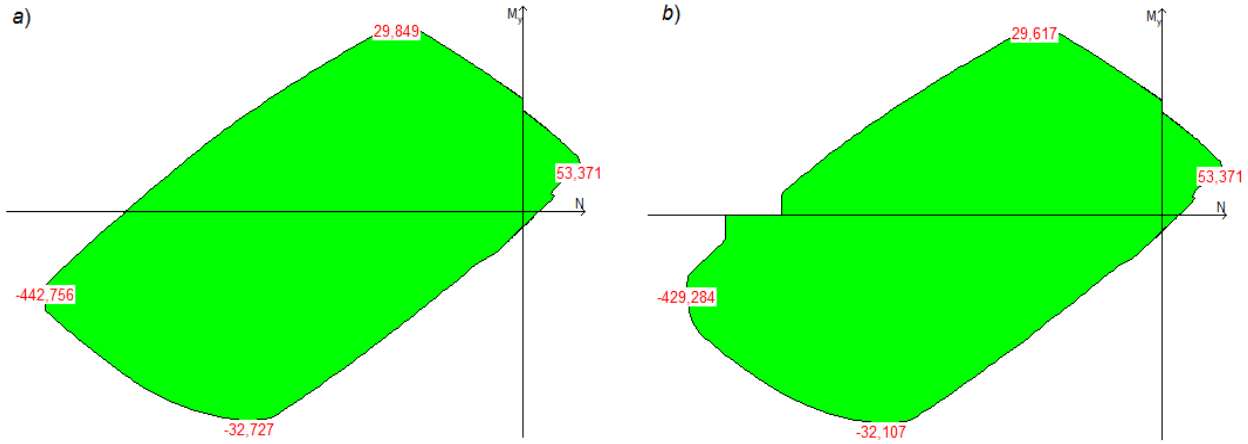


Рис. 1.5-5. Влияние случайного эксцентриситета на форму проекции области несущей способности железобетонного сечения

СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции

Для деревянного сечения (стержень из сосны длиной 3 м с прямоугольным поперечным сечением 500×80 мм) область несущей способности показана на рис. 1.5-6. Скачок при переходе из области $N > 0$ в область $N \le 0$ определяется формулировками пунктов 6.14 и 6.20 норм, которые формулируют требования о проверке устойчивости только для изгибаемых и сжато-изгибаемые элементов. О необходимости выполнить такую проверку в случае растянуто-изгибаемого стержневого элемента нормы умалчивают. Вместе с тем, очевидно, что при очень малых значениях растягивающего усилия эта проверка должна быть обязательной. При этом граница области несущей способности сечения прошла бы вдоль пунктирной кривой на рис. 1.5-6.

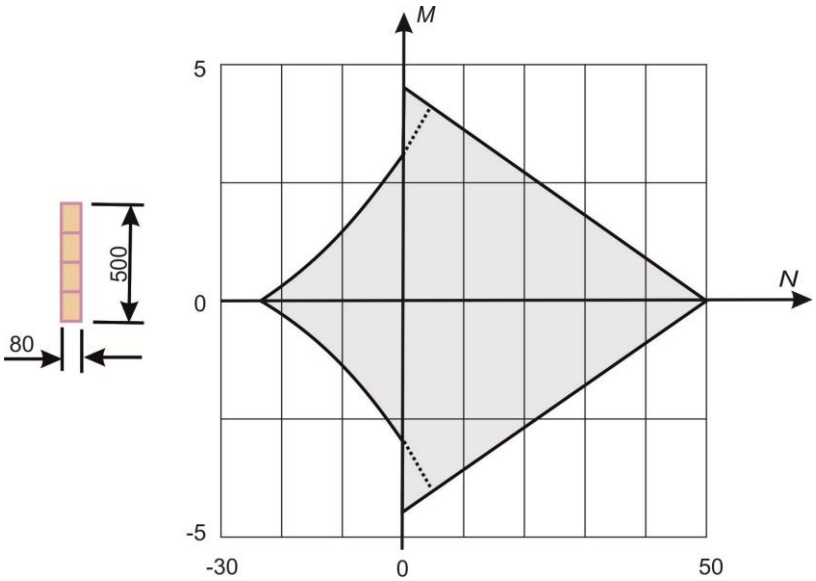


Рис 1.5-6. Область несущей способности по нормам проектирования деревянных конструкций

СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции

Для стержневых элементов каменных и армокаменных конструкций область несущей способности сечений может характеризоваться невыпуклостью. Каменные конструкции, подобно железобетонным, различным способом сопротивляются растяжению и сжатию. В связи с этим в нормах проектирования возможность перехода к различным схемам предельного состояния реализуется скачкообразно.

В частности, в соответствии с п. 4.20 СНиП II-22-81, расчет неармированной кладки на срез выполняется следующим образом:

- если эксцентриситет продольной силы не выходит за пределы ядра сечения, – с учетом всей площади поперечного сечения A;
- если эксцентриситет превышает размеры ядра сечения, – с учетом только площади сжатой зоны A_c.

В результате граница области несущей способности получает излом, приводящий к потере выпуклости (точка Q на рис. 1.5-7, *а*).

а *б*

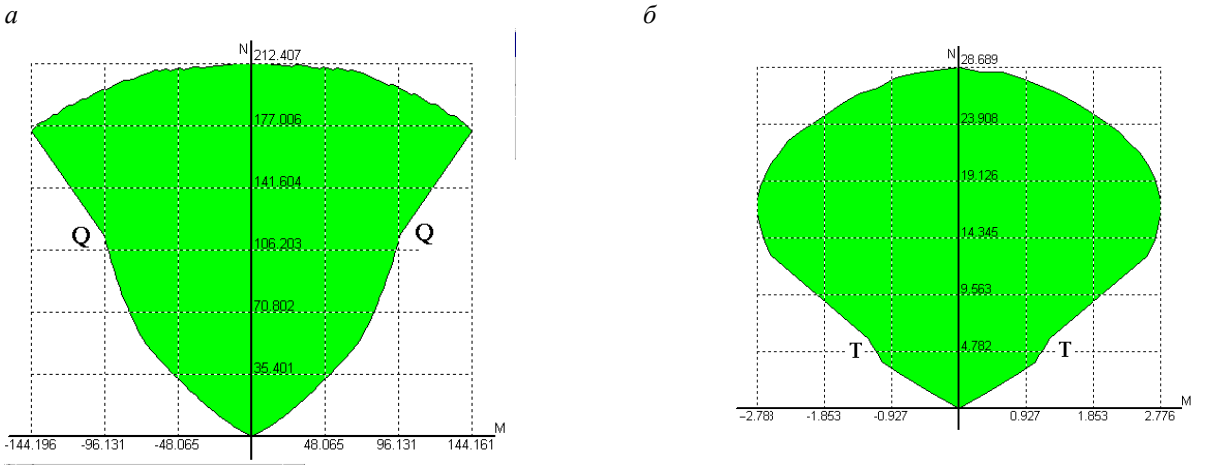


Рис. 1.5-7. Области несущей способности каменных конструкций (пример)

Другой фактор, приводящий к невыпуклости области несущей способности каменных конструкций, связан с указанием п. 5.3 упомянутого СНиП II-22-81, который требует проведения проверки на раскрытие швов кладки только при значениях эксцентриситета продольной силы относительно центра тяжести сечения $e_0 > 0.75y$. В результате появляется излом в точке T (рис. 1.5-7, *б*).

Число примеров можно было бы увеличить, но и приведенные свидетельствуют о вполне реальной ситуации, когда область несущей способности сечений может оказаться невыпуклой. Как показывает анализ, во многих случаях здесь сказываются нестыковки в части формулирования требований к стержневым элементам несущих конструкций, обусловленные, скорее всего, недостаточной отладкой самих формулировок.

Происхождение таких нестыковок связано с тем, что традиционный подход к нормированию, ориентированный на ручной счет, породил всякого рода «упрощения», при которых некоторые проверки допускалось не выполнять или подменять общий случай некоторым частным случаем (как при $m < 20$ для сжато-изгибаемых стальных элементов).

Кроме того, использование «логических переключателей», которые меняют правила по признаку, не имеющему точной физической подосновы, приводит к скачкообразному изменению алгоритма, как при классификации поперечных сечений в Еврокоде. Современные возможности, представляемые компьютерной проверкой, позволяют выявить такие неточности и определяют пути совершенствования норм.

1.6 Область несущей способности как инструмент анализа условий нагружения

Опасности, связанные с невыпуклостью области несущей способности элементов конструкций, указывают на необходимость анализа близости совокупности заданных сочетаний усилий к тому участку границы области несущей способности, где проявляется свойство невыпуклости.

Практически такой анализ может быть реализован с использованием дополнительного инструментария, представляемого компонентами **SCAD Office**. Для анализа проблем, связанных с невыпуклостью области несущей способности, предусмотрены кнопки: , которые позволяют выполнить следующие действия:

– если пользователем заданы усилия, то нажатие этой кнопки приведет к отрисовке всего множества заданных сочетаний усилий в виде точек, каждая из которых соответствует проекции одного из вариантов сочетаний усилий на плоскость выбранной пары усилий (рис. 1.6-1).

– отрисовка выпуклой оболочки указанных выше точек, т.е. всего множества точек, которые могут быть результатом линейной комбинации заданных усилий, в том числе и их неполных значений.

Несмотря на то, что эти комбинации не подвергались прямой проверке, в том случае, когда выпуклая оболочка нагружений не выходит из области несущей способности сечения, можно гарантировать, что и разнообразные нагружения, скомбинированные из заданных, не являются опасными.

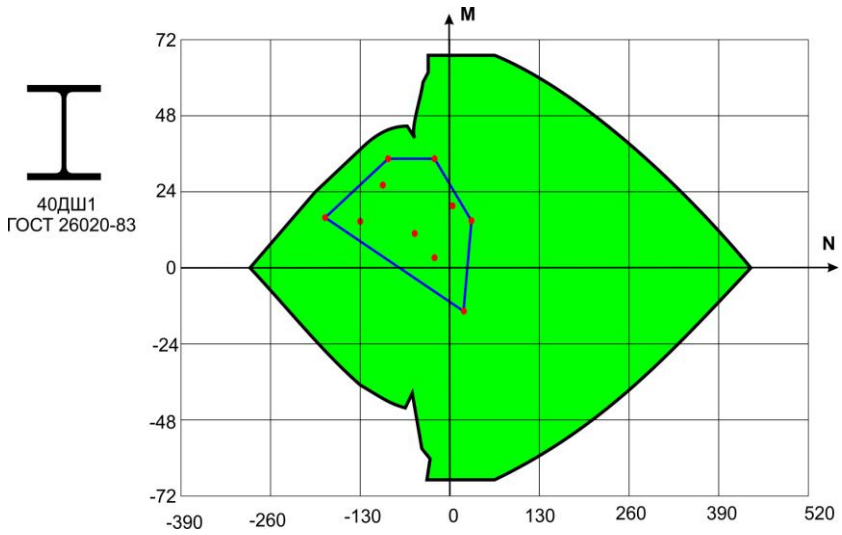


Рис. 1.6-1. Заданные (базовые) нагружения и их выпуклая оболочка, совмещенная с областью несущей способности сечения

Следует отметить, что представленный механизм является мощным инструментом анализа условий нагружений, но пользоваться им следует аккуратно.

Напомним, что область несущей способности сечения является телом в шестимерном пространстве внутренних усилий (с координатами N, M_y, Q_z, M_z, Q_y, T). Область несущей способности – это сечение данного тела плоскостью, а точка соответствующая набору усилий – проекция на эту плоскость. Если точка, которая соответствует некоторому набору усилий, лежит внутри области несущей способности, то отсюда еще не следует, что выполнены все требования норм. Это связано, например, с тем, что при построении области несущей способности (кривых взаимодействия) игнорируются ограничения гибкости (ведь эти

ограничения не зависят от усилий) и возможна ситуация, при которой точка принадлежит области несущей способности сечения (лежит в "зеленой зоне"), но расчет покажет $K_{max} > 1$.

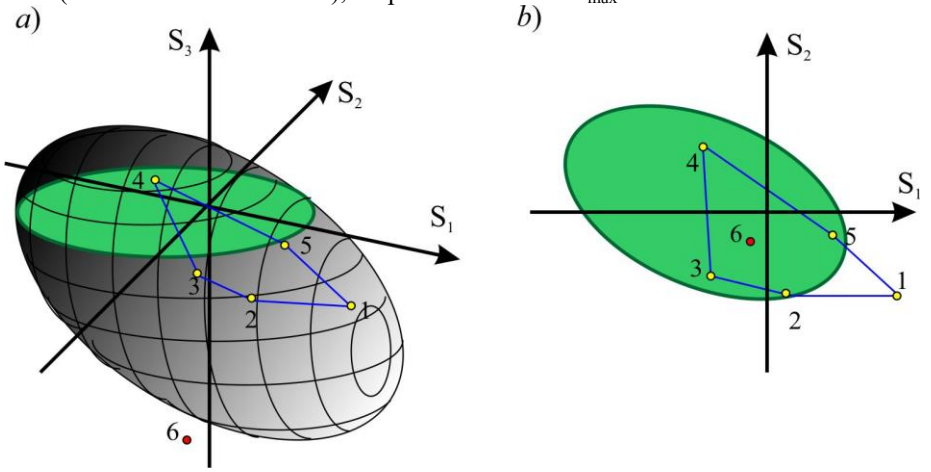


Рис. 1.6-2. Иллюстрация возможных расчетных ситуаций

Оперируя только с двухмерными ортогональными проекциями области несущей способности можно «увидеть» как проекции некоторых точек (сочетаний внутренних усилий), принадлежащих этой области (для которых максимальный коэффициент использования ограничений не превышает единицы $K_{max} < 1$), отображаются вне границы проекции области несущей способности (как, например, точка 1 на рис. 1.6-2). Такое может произойти и в том случае, когда для заданного набора сочетаний внутренних усилий был выставлен признак "сейсмика", и, как следствие, при расчете использовался коэффициент условий работы $m_{кр} > 1$. А автоматизированное построение области несущей способности (кривых взаимодействия) производится без учета коэффициента $m_{кр}$. Более сложная ситуация может возникнуть при анализе кривых взаимодействия для железобетонных конструкций, поскольку у различных наборов усилий (точек) могут быть разные коэффициенты длительности.

Возможно ошибочное «видение» и обратного рода, когда проекция точки лежит в границах проекции области несущей способности, а сама точка не принадлежит области (см., например точка 6 на рис. 1.6-2).

Для идентификации описанных ситуаций, проекции точек, в которых коэффициент использования ограничений превышает единицу, отображаются на проекциях области несущей способности окрашенными в красный цвет, в противном случае — в зеленый.

1.7 Поверхности взаимодействия

В большинстве программ на странице *Кривые взаимодействия* есть кнопка , которая позволяет для выбранной пользователем тройки внутренних усилий (например, M_y-M_z-N) построить в трехмерном пространстве поверхность, на которой K_{max}=1. Нажатие этой кнопки приводит к появлению диалогового окна (см. рис. 1.7-1), в котором можно выбрать какое усилие соответствует той или иной координатной оси (XYZ).

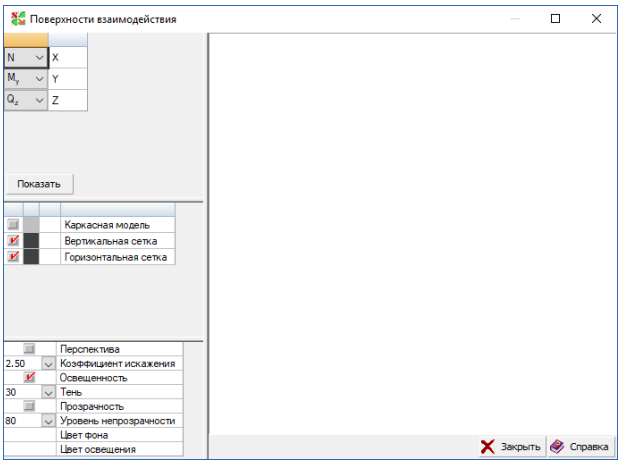


Рис. 1.7-1. *Диалоговое окно* **Поверхности взаимодействия**

После этого кнопка **Показать** инициирует расчет, который можно прервать нажатием кнопки **Отмена**. По завершении расчета появится изображение поверхности взаимодействия (см. рис. 1.7-2)

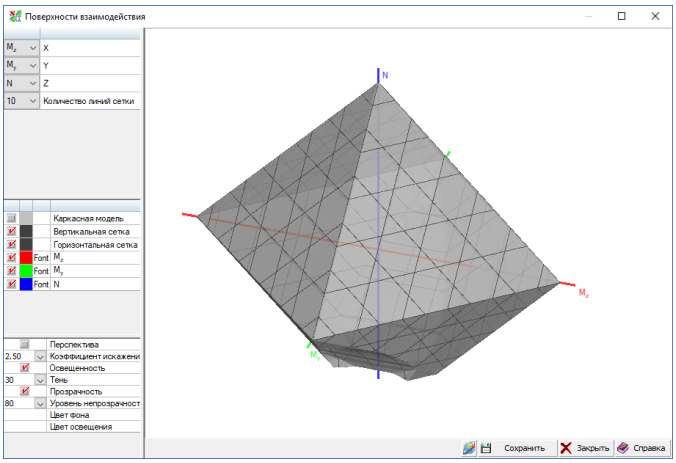


Рис. 1.7-2. Поверхность взаимодействия

В этом состоянии можно используя расположенные в левой части окна элементы управления

- выбрать плотность сетки, нанесенной на поверхность;
- изменить цвета, используемые при отрисовке (а также фонты названия осей);
- отказаться от отрисовки вертикальной и/или горизонтальной сеток на поверхности;
- установить режим прозрачности и/или освещенности;
- заказать отображение геометрической перспективы и выбрать коэффициент искажения;
- изменить цвет фона и цвет освещения.

Для смены цвета или фонта следует сделать двойной щелчок мыши на соответствующей ячейке и выбрать нужные параметры.

Маркер **Каркасная модель** позволяет получить изображение поверхности в виде каркаса (рис. 1.7-3).

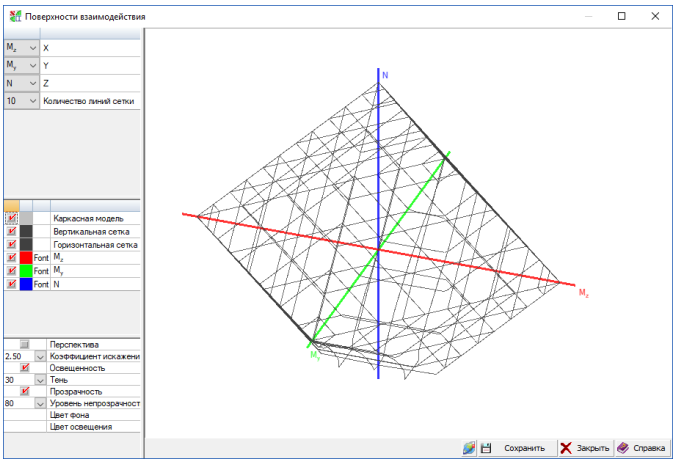
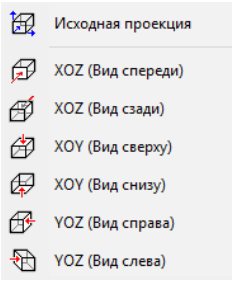


Рис. 1.7-3. Поверхность взаимодействия (каркасная модель)

Нажатие правой кнопки мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором можно выбрать нужную проекцию:



Программа обеспечивает также следующие операции с мышью:

- при вращении колеса мыши происходит изменение масштаба изображения;
- нажатие средней кнопки мыши (колеса) и перемещение курсора приводит к сдвигу изображения;
- если нажата средняя кнопка мыши (колесо) и на клавиатуре нажата клавиша *Shift* или *Ctrl*, то при перемещении курсора мыши происходит вращение поверхности (можно также использовать кнопку для перехода в режим вращения).

Кнопка **Сохранить** выполняет запись в текстовый файл тех усилий, которые приводят к K_{max}=1 (в дальнейшем данный файл можно импортировать в другие программы для дальнейшего анализа).

1.8 Нормы по надежности

Во многих расчетных режимах требуется задание информации о коэффициенте надежности по ответственности согласно выбранным нормам по надежности (ГОСТ 27751-88, ГОСТ 27751-2014, ДБН В.1.2-14-2009, …).

При расчете используются три коэффициента надежности по ответственности:

- для первого предельного состояния γ_n;
- для второго предельного состояния;
- для аварийного/особого состояния (используется также при анализе огнестойкости).

Коэффициент γ_n может быть выбран из выпадающего списка в соответствии с характеристикой объекта строительства (объект *повышенной*, *нормальной* или *пониженной* ответственности) или введен пользователем (в нестандартных ситуациях).

ДБН В.1.2-14-2009 предусматривает три коэффициента надежности по ответственности (для первого предельного состояния, второго предельного состояния и аварийных ситуаций). Пользователь может задать каждый из этих трех коэффициентов. В ГОСТ 27751-88 предусмотрен только один коэффициент и этот коэффициент используется программой во всех расчетных ситуациях. Если в качестве норм по надежности выбран ГОСТ 27751-2014, то заданный пользователем коэффициент γ_n используется при расчетах по первому предельному состоянию. При расчетах по второму предельному состоянию полагается γ_n=1.0 (чтобы избежать ситуации, при которой нормативные значения оказываются больше расчетных этот коэффициент, принимается не более чем γ_n для первого предельного состояния). При анализе особых расчетных ситуаций используется γ_n=1.0 (см. п. 5.5 СП 296.1325800.2017).

1.9 Учет сейсмики

В программах **Декор, АРБАТ** и **Кристалл** в главном окне предусмотрена возможность выбора нормативных документов, регламентирующих строительство в сейсмических районах. Кроме того, в некоторых режимах, например, *Сопротивление сечений, Элемент фермы* (**Кристалл** или **Декор**), *Болтовые соединения, Фрикционные соединения* (**Кристалл**) при задании усилий можно выставить маркер **Сейсмика**. В этом случае при расчете будет дополнительно использоваться оговоренный в сейсмических нормах коэффициент условий работы $m_{кр}$.

1.10 Литература

[1] Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., SCAD Office Вычислительный комплекс SCAD. – М: Изд. АСВ, 2007. – 592 с

2. Общие принципы управления программами

2.1 Элементы управления

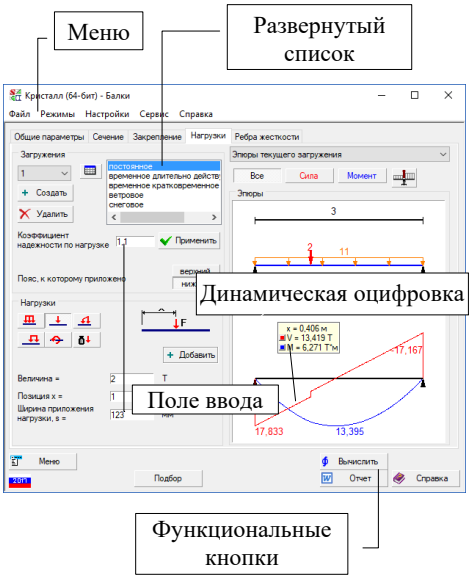


Рис. 2.1-1. Элементы управления

Реализованные в программах принципы и элементы управления обеспечивают единообразие функций диалога. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами. Активизация страницы происходит при нажатии на ее закладку. Кроме того, в качестве элементов управления и способов доступа к информации используются (см. рис. 2.1-1):

- меню, которые раскрываются так же, как и меню любого приложения MS Windows[1], щелчком левой кнопки мыши;
- функциональные кнопки, «нажатие» которых (оно реализуется установкой курсора на кнопку и щелчком левой кнопки мыши) приводит к активизации определенных функций или режимов;
- маркеры различного вида, которые позволяют осуществить выбор из набора предлагаемых вариантов;
- поля ввода информации, с помощью которых задаются исходные данные для расчета. Исходными данными всегда являются числа. Если вводится нецелое число, то целая часть отделяется от дробной части точкой или другим разделителем. Разделители назначаются пользователем при настройке операционной системы (см. **Settings (Установки) | Regional Settings (Языки и стандарты) | Number (Числа)**). Кроме того, предусмотрена возможность ввода чисел в экспоненциальной форме, например: 1.56e-7 (при задании числовых данных можно вводить не только числа, но и простые арифметические выражения, например, 0.9*190.8+4.5);
- выпадающие и развернутые списки для выбора данных;
- таблицы — для ввода и отображения табличных данных;
- динамическая оцифровка графика, с помощью которой для указанного курсором аргумента на экран монитора выводятся значения функции.

[1] Microsoft, Windows являются зарегистрированными товарными знаками Microsoft Corporation. Все другие товарные знаки являются собственностью соответствующих фирм.

2.2 Настройки

Диалоговое окно **Настройки приложения** может быть вызвано в любой момент работы программы. С его помощью выполняется настройка общих параметров работы. Как правило, окно содержит закладки: **Единицы измерения**, **Отчет и языки**, **Визуализация, Каталоги сечений** и **Общие параметры**.

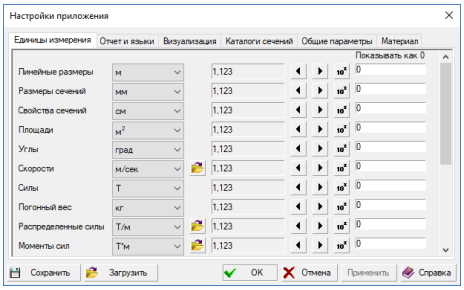


Рис. 2.2-1. *Страница* **Единицы измерения**

Каждой из закладок соответствует страница, которая обеспечивает выбор определенного вида параметров настройки.

Страница **Единицы измерения** (рис. 2.2-1) определяет используемые единицы измерения величин. Она включает две группы данных. В первой задаются единицы измерения, применяемые для определения размеров конструкции, сил, моментов и т. д.

Для составных единиц (таких, как моменты сил, давление и т. д.) предусмотрена возможность раздельного выбора единиц измерения составляющих (например, единиц измерения сил и единиц измерения плеча для моментов).

Для этого используется кнопка .

Вторая группа позволяет регулировать форму представления и точность задания данных. Специальные элементы управления используются для назначения форматов представления данных. Здесь задается количество значащих цифр при представлении данных в форме с десятичной точкой или в экспоненциальном представлении.

Точность представления данных (количество значащих цифр после запятой) назначается с помощью кнопок (уменьшить) и (увеличить), а установка экспоненциальной формы числа — кнопкой . Кроме того, в соответствующих окнах ввода можно определить, какое значение той или иной единицы следует интерпретировать как «очень малое» и при визуализации соответствующих данных показывать как 0, если значение по абсолютной величине меньше заданного.

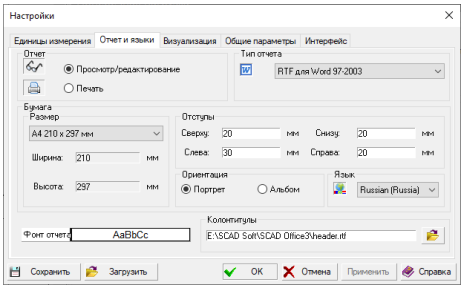


Рис. 2.2-2. *Страница* **Отчет и языки**

Страница **Отчет и языки** (рис. 2.2-2) дает возможность выбрать язык, на котором будут представлены все тексты в управляющих окнах и оформлен отчет.

Для работы с отчетным документом может быть выбран режим **Просмотр/Редактирование** или режим **Печать**.

В режиме **Просмотр/Редактирование** нажатие кнопки **Отчет** в любом рабочем окне позволяет просмотреть текст отчета на экране и отредактировать его. Для этого вызывается приложение, ассоциированное с форматом RTF (Rich Text Format) файла (например, MS Word Pad или MS Word).

Естественно, что за исправления, внесенные в текст отчета (а могут быть исправлены и результаты расчета), ответственность несет пользователь.

Существуют различия в формате RTF-файлов, которые используются программами MS Word v.7, MS Word 97 (2000) и Open Office. В связи с этим в настройках предусмотрена возможность выбора формата в режиме **Тип отчета** (помимо формата RTF в программе предусмотрена возможность создания отчета в форматах DOC, PDF, HTML). Нажатие кнопки **Печать** в группе **Отчет** вызывает печать отчета в той форме, в которой он сформирован программой (подробнее см. раздел 2.5).

В строке **Колонтитулы** можно указать имя файла, из которого берутся колонтитулы для оформления страниц отчетного документа. Файл выбирается из стандартного списка нажатием кнопки .[2]

Опция **Размер бумаги** позволяет установить формат бумаги, на которой печатается отчет (размер выбирается из выпадающего списка).

Маркер **Сокращенный отчет** позволяет сократить объем отчетного документа. В частности в режимах типа ***Сопротивление сечений*** будут выведены результаты только по тем загружениям, для которых достигался максимум хотя бы для одного фактора.

Фонт отчета предназначен для выбора типа фонта в отчетных документах. Двойной щелчок левой кнопки мыши позволяет активировать стандартное окно Windows для настройки шрифта. При формировании отчетов программа будет использовать только выбранный тип шрифта (стиль и размер назначаются программой).

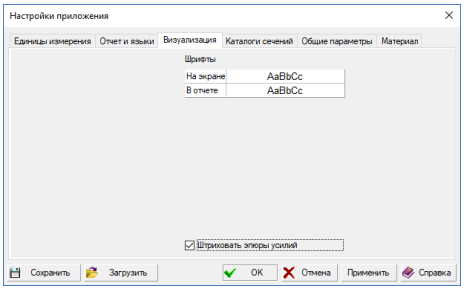


Рис. 2.2-3. *Страница* **Визуализация**

Помимо этого можно установить отступы и ориентацию листа при формировании отчетного документа.

На странице **Визуализация** (рис. 2.2-3) имеется группа элементов управления **Шрифты**. Двойной щелчок левой кнопки мыши позволяет активировать стандартное окно Windows для настройки шрифта.

Страница также содержит маркер включения режима штриховки эпюр усилий.

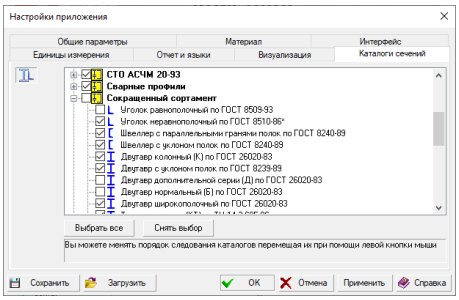


Рис. 2.2-4. *Страница* **Каталоги сечений**

На странице **Каталоги сечений** (рис. 2.2-4) выполняется назначение каталогов сортамента металлопроката, которые будут использоваться в программе. Каталоги представлены в виде дерева (каталоги и семейства). Возле каждого семейства имеется маркер. Семейства, у которых маркер снят, не будут появляться в программе. Каталоги можно расположить в удобном для работы порядке (в этом порядке они будут находиться в списке или в диалоговых окнах для выбора элементов металлопроката). Смена порядка следования осуществляется путем перемещения нужного каталога при помощи правой кнопки мыши.

На странице **Общие параметры** можно выставить маркер **Скрыть окно, когда минимизировано**, и тогда при минимизации окна программы оно исчезнет из панели задач, а в «tray»-область попадет икона. Из «tray»-области окно восстанавливается левой кнопкой мыши, правой – открывается контекстное меню.

Кроме того, на этой странице можно выставить маркер **Проверять наличие обновлений программы при запуске**. Если маркер установлен, то при каждом запуске программа будет проверять наличие новой версии на сайте компании, и при обнаружении нового релиза выдавать соответствующее сообщение.

[2] Если Вы хотите модифицировать поставляемый с программой RTF-файл колонтитулов, то при использовании с этой целью программы MS Word следует помнить, что недостаточно просто ввести новый текст, нужно еще использовать меню **Tools|Language|Set Language** (**Сервис|Язык|Выбрать язык**) и установить для вновь введенного текста язык — *Русский*.

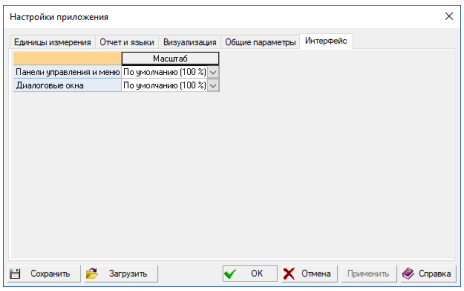


Рис. 2.2-5. *Страница* **Интерфейс**

На странице **Интерфейс** (рис. 2.2-5) можно установить масштабы для различных элементов интерфейса пользователя:

- панелей управления и меню;
- диалоговых окон.

Возможности, которые предоставлены на этой странице, предназначены в первую очередь для настроек параметров при работе на HiDPI мониторах.

Настройки программы можно сохранить во внешнем файле, используя кнопку **Сохранить**, и в дальнейшем загрузить этот файл (кнопка **Загрузить**).

2.3 Меню

Файл — Раздел **Файл** включает две команды: **Меню** и **Выход**.

Меню — с помощью этой команды выполняется переход в главное окно (дублируется одноименная кнопка).

Выход — завершение работы с программой.

Режимы — Раздел **Режимы** содержит перечень всех режимов работы программы и позволяет обращаться к ним из любого режима без перехода в главное окно.

Настройки — Из этого раздела вызывается диалоговое окно **Настройки приложения**, в котором выполняется настройка программы (дублируется действие одноименной кнопки).

Сервис — Поскольку при работе с программой часто возникает необходимость выполнить некоторые дополнительные расчеты, то в разделе **Сервис** предусматривается возможность вызова стандартного калькулятора среды Windows (если он установлен в системе), а также калькуляторов для расчетов по формулам и преобразования единиц измерения.

Справка — В этом разделе меню находится справочная информация по управлению и описание основных функций программы.

2.4 Работа с таблицами

В большинстве случаев исходные данные в программе задаются в табличном виде (рис. 2.4-1). Общие правила ввода данных в таблицы следующие:

- данные в таблицу вводятся в виде десятичных чисел; вид разделителя между целой и дробной частью числа (запятая или точка) зависит от настроек среды Windows;
- в тех случаях, когда количество строк в таблице назначается пользователем, рядом с таблицей установлены кнопки **Добавить** и **Удалить**; первая из них позволяет ввести новую строку после отмеченной строки, а вторая — удалить отмеченную строку или строки;
- чтобы отметить одну или несколько подряд идущих строк, следует установить курсор на номер первой из них, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, провести курсором по номерам отмечаемых строк;
- переход между ячейками таблицы выполняется нажатием клавиши **Tab** (Табуляция) на клавиатуре.

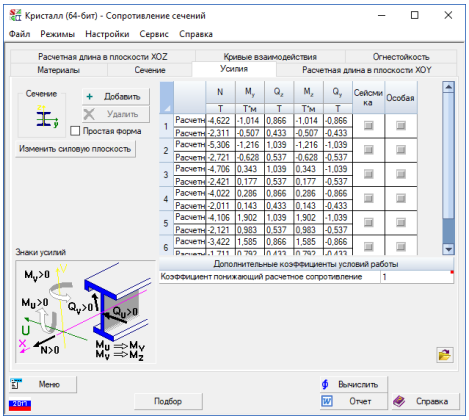


Рис. 2.4-1. *Пример таблицы с усилиями*

Поскольку новые строки вводятся после отмеченной, то при необходимости ввести строку перед первой строкой в таблице следует выполнить следующие действия:

- отметить первую строку таблицы и нажатием кнопки **Добавить** ввести новую строку после нее;
- отметить первую строку таблицы и нажать одновременно кнопки клавиатуры **Ctrl+Insert** (или **Ctrl+C**), после чего содержимое первой строки будет скопировано в **Clipboard** (буфер обмена);
- отметить вторую (новую) строку таблицы и одновременно нажать кнопки клавиатуры **Shift+Insert** (или **Ctrl+V**), после чего содержимое буфера обмена будет записано в ячейки второй строки, и первую строку таблицы можно будет заполнить необходимыми данными.

Перечисленные выше действия можно использовать и для копирования одной или нескольких отмеченных строк таблицы.

Операции с таблицами

Операции с данными, представленными в табличном виде, выполняются с помощью набора команд, вызываемого нажатием правой кнопки мыши при размещении курсора в поле таблицы (рис. 2.4-2).

Набор включает следующие команды:

- **Копировать** — запись в буфер содержимого отмеченных строк или ячеек (по горизонтали и вертикали);
- **Вставить** — помещает информацию из буфера в таблицу, начиная с отмеченной ячейки. Если в процессе вставки оказывается, что существующих строк не хватает, то они автоматически добавляются. Столбцы не добавляются, т. е. информация справа от последнего столбца пропадает;
- **Добавить строку перед текущей** (под текущей понимается строка, в которой активна по крайней мере одна ячейка) — добавляется строка перед текущей строкой; все ячейки новой строки получат значения по умолчанию (если другого не оговорено, то равны нулю);
- **Добавить строку после текущей** — добавляется строка после текущей строки (команда выполняется по тем же правилам, что и предыдущая);
- **Очистить отмеченные строки** — во все ячейки отмеченных строк вносятся значения по умолчанию (как правило, нули);
- **Удалить отмеченные строки** — удаляются все отмеченные строки;
- **Копировать текущие строки** — в буфер копируется вся строка, независимо от того, выделена она полностью или частично;
- **Вставить текущие строки** — вставка строк, копирование которых выполнялось командой **Копировать текущие строки**.

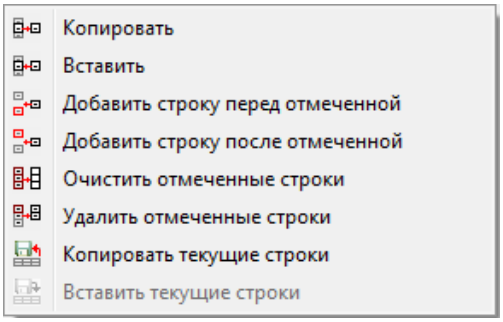


Рис. 2.4-2. Набор команд для работы с табличными данными

Первые две команды (**Копировать** и **Вставить**) можно использовать не только для операций с текущей таблицей программы, но и для переноса табличных данных в другие таблицы и приложения, в том числе и не входящие в систему **SCAD Office** (например, MS Excel).

2.5 Формирование отчета

Все расчетные режимы работы имеют кнопку **Отчет**. Нажатие этой кнопки при отсутствии ошибок в исходных данных приводит к следующим действиям:

- выполнение всех расчетов;
- создание файла в формате RTF (Rich Text Format), установленном пользователем в настройках, который содержит перечень исходных данных и результаты расчета. В зависимости от установленной в окне **Настройки приложения** опции **Сокращенный отчет** отчетный документ содержит (или не содержит) результаты некоторых промежуточных вычислений (например, информацию о геометрических свойствах используемых сечений, значения отдельных (а не только максимального) коэффициентов использования несущей способности и т. д.);
- вызов Windows-приложения, которое ассоциировано с файлами типа RTF. В зависимости от установленных в окне **Настройки приложения | Отчет и языки** опций (**Печать** или **Просмотр/Редактирование**) это приложение активизируется для немедленной печати отчета или для его просмотра и, возможно, корректировки. В последнем случае получение твердой копии возлагается на пользователя (он может воспользоваться возможностью печати из приложения).

Замечание. Существуют различия в формате RTF-файлов, которые используются программами MS Word v.7, MS Word 97 (2000) и Open Office. В связи с этим в настройках предусмотрена возможность выбора формата в режиме **Тип отчета** (помимо формата RTF в программе предусмотрена возможность создания отчета в форматах DOC, PDF, HTML).

2.6 Сохранение и экспорт данных

Во всех расчетных режимах предусмотрена возможность сохранения введенной информации во внешнем файле. Для этого, находясь в соответствующем режиме, следует воспользоваться пунктом меню **Файл|Сохранить как**. При этом появится стандартное окно Windows для выбора директории и файла, в котором следует сохранить данные. Имя файла и расширение задаются пользователем.

В дальнейшем пункт меню **Файл|Открыть** позволит загрузить сохраненные данные.

В некоторых режимах в меню **Файл есть** пункты, позволяющий произвести экспорт данных в другой режим. При этом все данные (общие для двух режимов) будут автоматически переданы и будет активизован выбранный режим.

3. Программа ВеСТ

Программа **ВеСТ** предназначена для выполнения расчетов, связанных с определением нагрузок и воздействий на строительные конструкции в соответствии с рекомендациями четырех нормативных документов: СНиП 2.01.07-85, являющегося межгосударственным документом стран СНГ, СНиП 2.01.07-85* с изменением от 2003 г. № 2 в части снеговых нагрузок и действующего на территории Российской Федерации, ДБН В.1.2-2:2006 с изменением №1 в части определения ветровых нагрузок, регламентирующих нагрузки и воздействия, и ДСТУ Б В.1.2-3:2006, регламентирующего прогибы и перемещения и действующего на территории Украины. Кроме того, реализована поддержка актуализированной редакции СНиП 2.01.07-85* СП 20.13330.2011 и СП 20.13330.2016, Изменение № 1 СНиП 2.01.07-85 Республики Беларусь, КМК 2.01.07-96.

В программе реализованы лишь наиболее часто встречающиеся случаи нагружения, а также те случаи, для которых выполнение требований нормативных документов связано с достаточно сложной логикой и которые, как свидетельствует опыт, часто приводят к ошибкам.

Кроме указанной функции, **ВеСТ** в определенной мере играет роль справочника, с помощью которого можно уточнить некоторые фактические данные о районировании территории по нагрузкам и воздействиям или получить другие данные справочного характера.

И, наконец, с помощью программы можно накапливать часто используемые проектировщиком решения, создавая свой собственный справочно-информационный фонд.

При дальнейшем описании функций программы **ВеСТ** будет совмещено описание общих возможностей и отдельно указаны лишь наиболее существенные отличия, связанные с реализацией отличий, содержащихся в требованиях нормативных документов. В большей степени это касается отличий между двумя редакциями СНиП и ДБН. ДСТУ, регламентирующий прогибы и перемещения, заменяет главу 10 обеих редакций СНиП, и в сравнении с этой главой отличий по существу не содержит.

В дальнейшем тексте описаний мы не будем различать СНиП 2.01.07-85, КМК 2.01.07-96 и СНиП 2.01.07-85* в силу их идентичности с точки зрения задаваемых данных и формы представления результатов.

3.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно (рис. 3.1-1), содержащее набор кнопок для выбора режима. Режимы работы условно можно разделить на две группы:

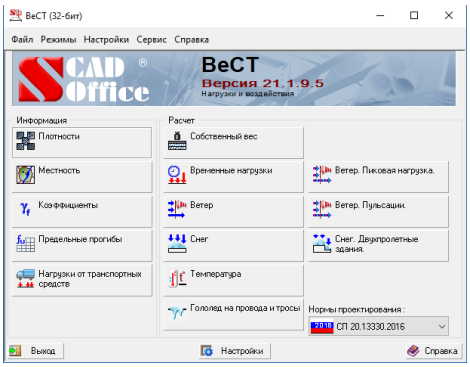


Рис. 3.1-1. *Главное окно*

- информационные — выполняющие справочные и вспомогательные операции, связанные с определением нагрузок и воздействий;
- расчетные — реализующие вычисления нагрузок и воздействий в соответствии с требованиями СНиП и ДБН (выбор производится в выпадающем списке **Нормы проектирования**).

Детальное описание каждого режима и их отличия, связанные с реализацией требований различных документов, приводится в последующих разделах. Здесь представлена только их краткая характеристика.

Информационные режимы представлены следующим набором:

- **Плотности** — справочные данные о плотностях основных строительных материалов;
- **Местность** — определение параметров нагрузок, которые зависят от географического положения площадки строительства;

- **Коэффициенты** — справочные данные о значениях коэффициента надежности по нагрузке γ_f;
- **Предельные прогибы** — справочные данные о нормируемых значениях предельных прогибов и перемещений;
- **Сроки эксплуатации** (по ДБН) — справочные данные по срокам эксплуатации зданий и инженерных сооружений.
- **Нагрузки от транспортных средств** — справочные данные по вертикальным нагрузкам от транспортных средств по СП 20.13330.

- В группу **расчетных режимов** входят:
- **Собственный вес** — определение значения нагрузки от собственного веса многослойного пакета из различных материалов, приходящейся на единицу площади;
- **Временные нагрузки** — определение значений равномерно распределенных временных нагрузок в различных помещениях в соответствии с указаниями таблицы 3 СНиП, таблицы 8.3 СП 20.13330 и таблицы 6.2 ДБН;
- **Ветер** — вычисление статической компоненты ветровых нагрузок для сооружений различного типа из числа предусмотренных приложением 4 СНиП, приложением Д СП 20.13330.2011*, приложением В СП 20.13330.2016 и приложением И ДБН;
- **Ветер. Пульсации** — вычисление статической компоненты ветровых нагрузок для прямоугольных в плане призматических сооружений и определение коэффициента динамичности по методике, реализованной в требованиях СНиП и СП;
- **Полный ветер** — вычисление ветровых нагрузок с учетом динамического действия пульсационной составляющей для вертикальных призматических и цилиндрических сооружений по пп. 9.4 — 9.13 ДБН;
- **Ветер. Пиковая нагрузка** — вычисление локальных ветровых воздействий по СП 20.13330.
- **Снег** — вычисление снеговых нагрузок для сооружений различного типа из числа предусмотренных приложением 3 СНиП, приложением Г СП 20.13330.2011, приложением Б СП 20.13330.2016 и приложением Ж ДБН;
- **Снег**. **Двухпролетные здания** — вычисление снеговых нагрузок для двухпролетных зданий различного типа из числа предусмотренных приложением 3 СНиП, приложением Г СП 20.13330.2011, приложением Б СП 20.13330.2016 и приложением Ж ДБН;
- **Температура** — определение температурных воздействий в соответствии с указаниями раздела 8 СНиП, раздела 13 СП и раздела 11 ДБН;
- **Гололед на провода и тросы —** вычисление нагрузок от веса гололеда и от действия ветра на провода и тросы, покрытые гололедными отложениями в соответствии с указаниями раздела 8 СНиП, раздела 12 СП и раздела 11 ДБН.

Для выхода в главное окно во всех режимах используется кнопка **Меню**. Возможен и непосредственный переход от одного режима к другому с использованием раздела **Режимы** меню программы.

Результатом работы расчетных режимов являются значения нормативных и расчетных значений нагрузок. Отметим, что в зависимости от применяемых норм проектирования, программа **ВеСТ** использует соответствующую терминологию, так в случае ДБН выводятся эксплуатационные, предельные и квазистатические расчетные значения нагрузки, а при расчетах по СП используются термины «расчетное значение (I предельное состояние)» и «расчетное значение (II предельное состояние)».

* В текущей версии программы **ВеСТ** расчет ветровых нагрузок по СП 20.13330.2011 не реализован ввиду возможности неоднозначного толкования некоторых положений этого документа (подробности см. на сайте компании SCAD Soft в разделе **Проблемы СНиП**, вопрос о ветровой нагрузке: http://www.scadsoft.com/SNiP/WindQ1.pdf).

3.2 Параметры

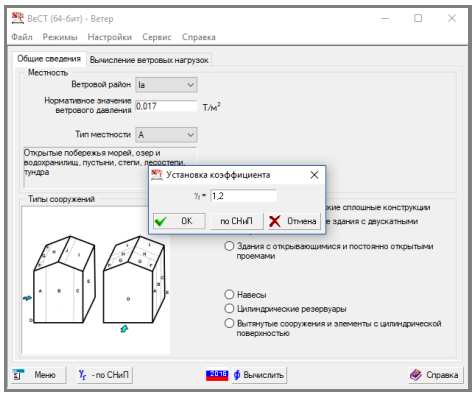


Рис. 3.2-1, *а*. Коэффициент надежности по нагрузке (по СНиП и по СП)

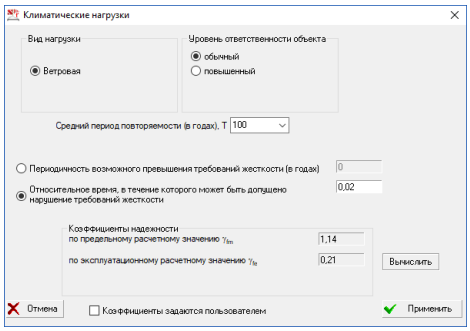


Рис. 3.2-1, *б*. Коэффициент надежности по нагрузке (по ДБН)

Специфичным для параметров настройки данного приложения является наличие в большинстве режимов кнопки γ_f, позволяющей установить **Коэффициент надежности по нагрузке** (γ_f) (рис. 3.2-1). Это связано с тем, что для всех рабочих режимов используются значения коэффициента γ_f по рекомендации соответствующих разделов СНиП, КМК, СП и ДБН. Но для некоторых специальных сооружений (например, объектов атомной энергетики) соответствующие нормативные документы рекомендуют другие значения γ_f.

В этих случаях следует в поле **Коэффициент надежности по нагрузке** задать иное значение, которое и будет использовано при вычислении расчетных величин нагрузок (нормативное значение остается прежним).

Если при установке коэффициента использовать кнопку **по нормам**, то в режимах **Снег** и **Ветер** используется значение $\gamma_f = 1{,}4$, справедливое для всех случаев, кроме снеговой нагрузки на здания с легкой кровлей (при расчетах по СниП, КМК см. пп. 5.7, 6.11).

3.3 Информационные режимы

3.3.1 Плотности

В таблицах режима **Плотности** (рис. 3.3.1-1) содержатся заимствованные из справочной литературы сведения о весе единицы объема (или единицы площади) следующих групп строительных материалов или конструктивных элементов:

- элементы покрытий;
- стальные настилы;
- теплоизоляция;
- пароизоляция;
- гидроизоляция;
- засыпки и обмазки;
- бетоны и растворы;
- другие.

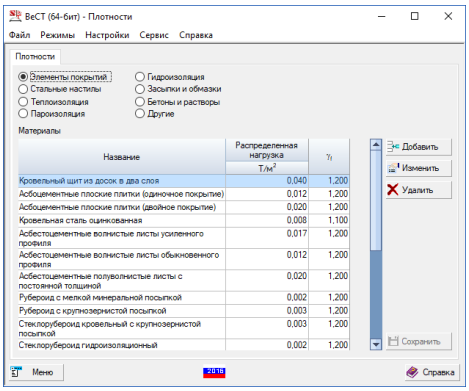


Рис. 3.3.1-1. *Диалоговое окно* **Плотности**

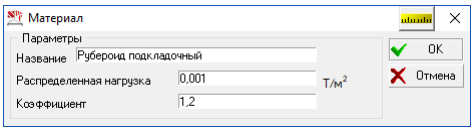


Рис. 3.3.1-2. *Диалоговое окно* **Материал**

Выбор группы, реализуемый с помощью соответствующих маркеров, приводит к открытию таблицы, где помещены наименования, вес единицы объема или площади и коэффициенты надежности по нагрузке материалов, выбранные в соответствии с рекомендациями таблицы 2 СниП, КМК и таблицы 6.1 ДБН.

Кнопка **Изменить** позволяет ввести уточняющие данные, которыми можно заменить предлагаемые в таблице значения параметров. После ее нажатия появляется диалоговое окно **Материал** (рис. 3.3.1-2) с наименованием и характеристиками материала из выбранной (отмеченной) в таблице строки. Наиболее естественное использование этой функции связано с уточнением ранее введенных данных (например, при изменении ТУ). Тот же результат, что и нажатием кнопки **Изменить**, может быть достигнут двойным щелчком левой кнопки мыши по строке таблицы, подлежащей изменению.

Кнопка **Добавить** позволяет расширять любую из справочных таблиц за счет включения дополнительных строк, описывающих новые строительные материалы или изделия. Наименование и характеристики нового материала заносятся в поля ввода диалогового окна **Материал**, которое появляется после вызова этой функции.

Для удаления материала из списка служит кнопка **Удалить**.

3.3.2 Плотности (EN 1991-1-1)

В таблицах режима **Плотности** содержатся приведенные в Приложении А EN 1991-1-1 сведения о весе единицы объема (или единицы площади) строительных материалов.

3.3.3 Местность

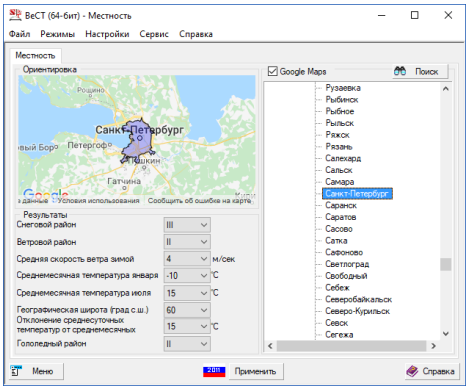


Рис. 3.3.3-1. *Диалоговое окно* **Местность**

Многие данные о нагрузках и воздействиях привязаны к географическому положению площадки строительства. Поиск этих данных реализован в диалоговом окне **Местность** (рис. 3.3.3-1) с использованием древовидной структуры административно-территориального деления, которая помещена в поле **Поиск** рассматриваемого окна. Если выбрать в дереве наименование площадки строительства, то, кроме климатических данных, в группе **Результаты** в поле **Ориентировка** отобразится соответствующий фрагмент карты. Если воспользоваться кнопкой **Поиск**, в одноименном диалоговом окне можно организовать поиск интересующей административной единицы или города по заданному названию. Если компьютер имеет доступ в Интернет, то маркер **Online Maps** позволяет отобразить карту на основании картографических онлайн сервисов.

В силу достаточно большой неопределенности, которую имеют изображения границ территориальных климатических районов на картах, предполагается, что эти границы не всегда совпадают с границами

административно-территориальных образований, т. е. не всегда административный район целиком принадлежит определенной климатической зоне, а может входить в две зоны. Крупные города, где сосредоточено массовое строительство, в древовидной структуре выделены отдельно. По ДБН климатические нагрузки для них могут быть уточнены в пределах нагрузок района в соответствии с указаниями приложения Е, для этого в соответствующих страницах режимов предусмотрена кнопка , нажатие которой приводит к появлению диалога со списком городов. Если выбрать город и нажать кнопку **Применить**, то уточненные данные о характеристической величине воздействия будут перенесены в данные для расчета.

После указания месторасположения площадки строительства в полях группы **Результаты** появляются следующие данные:

- номер снегового района (карта 1* приложения 5 СНиП, карта 1 приложения Ж СП 20.13330.2011 и карта 1 приложения Е СП 20.13330.2016, рис. 8.1 ДБН);
- номер ветрового района (карта 3 приложения 5 СНиП, карта 3 приложения Ж СП 20.13330.2011 и карта 2 приложения Е СП 20.13330.2016, рис. 9.1 ДБН);
- номер гололедного района (карта 4 приложения 5 СНиП, карта 4 приложения Ж СП 20.13330.2011, рис. 10.1 по ДБН);
- значение средней скорости ветра зимой (карта 2 приложения 5 по СНиП, карта 2 приложения Ж СП);
- среднемесячная температура июля (карта 6 приложения 5 СНиП, карта 6 приложения Ж СП);
- среднемесячная температура января (карта 5 приложения 5 СНиП, карта 5 приложения Ж СП);
- географическая широта, позволяющая определить максимальную солнечную радиацию (по СНиП 2.01.01-82);
- отклонение среднесуточных температур от среднемесячных (карта 7 приложения 5 СНиП, карта 7 приложения Ж и Е СП);
- номер ветрового района для ветра при гололеде (см. рис. 10.2 ДБН).

Эти значения могут быть изменены пользователем путем выбора из соответствующего выпадающего списка.

Нажатием кнопки **Применить** выбранные значения запоминаются для использования в расчетных режимах программы.

3.3.4 Коэффициенты

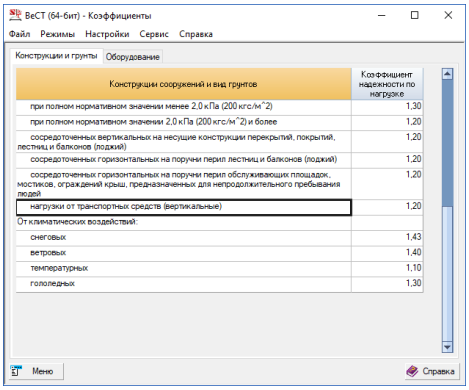


Рис. 3.3.4-1. *Страница* **Конструкции и грунты** *Диалогового окна* **Коэффициенты**

Этот режим позволяет получить справочную информацию о значениях коэффициентов надежности по нагрузке γ_f, предусмотренных СНиП, КМК, СП и ДБН. На странице **Конструкции и грунты** (рис. 3.3.4-1) представлены значения из табл. 1 СНиП, КМК, таблицы 7.1 СП 20.13330 и табл. 5.1 ДБН, а на странице **Оборудование** (рис. 3.3.4-2) — из табл. 2 СНиП, КМК, таблицы 8.2 СП 20.13330 и табл. 6.1 ДБН.

Страница **Климатические нагрузки** (рис. 3.3.4-3) позволяет получить справочную информацию о значениях коэффициентов надежности по нагрузке γ_f для ветровых, снеговых и гололедно-ветровых нагрузок по ДБН, зависящих от срока эксплуатации, степени ответственности здания или сооружения и времени, в течение которого при эксплуатации могут быть нарушены предельные неравенства второй группы предельных состояний, а также для температурных нагрузок.

При вычислении коэффициентов надежности по нагрузке реализуются требования следующих пунктов ДБН:

- для снеговой нагрузки — 8.11, 8.12;

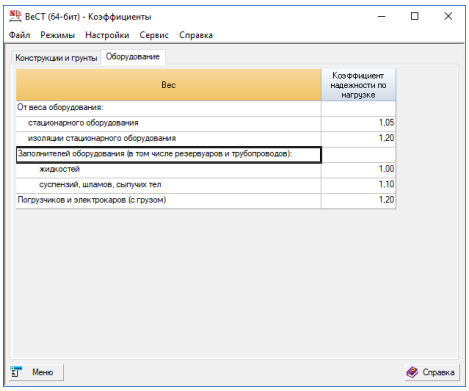


Рис. 3.3.4-2. *Страница* **Оборудование** *Диалогового окна* **Коэффициенты**

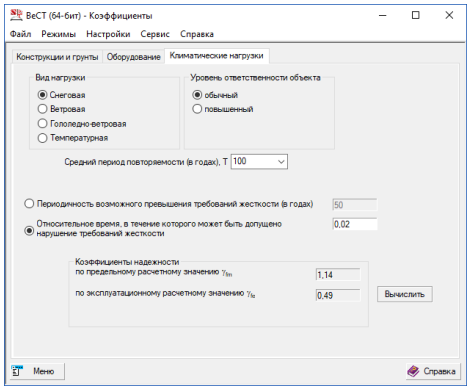


Рис. 3.3.4-3. *Страница* **Климатические нагрузки** *Диалогового окна* **Коэффициенты**

- для ветровой нагрузки — 9.14, 9.15;
- для гололедной-ветровой нагрузки — 10.10, 10.11;
- для температурной нагрузки – 11.8, 11.9.

3.3.5 Предельные прогибы

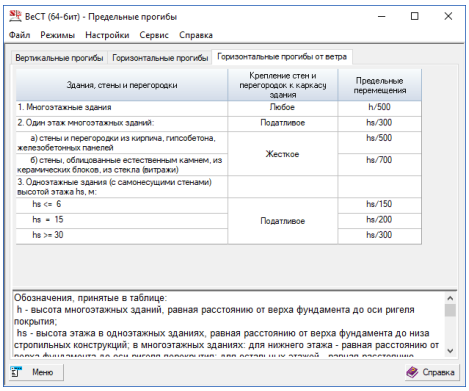


Рис. 3.3.5-1. *Страница* **Вертикальные прогибы** *Диалогового окна* **Предельные прогибы**

Этот режим позволяет получить информацию о значениях предельных вертикальных прогибов (рис. 3.3.5-1), а также предельных горизонтальных прогибов от кранов и ветра, приведенных в таблицах 19, 21, 22 СНиП, КМК, приложении Е СП 20.13330.2011, приложении Д СП 20.13330.2016, таблицах 1, 3, 4 ДСТУ.

3.3.6 Сроки эксплуатации

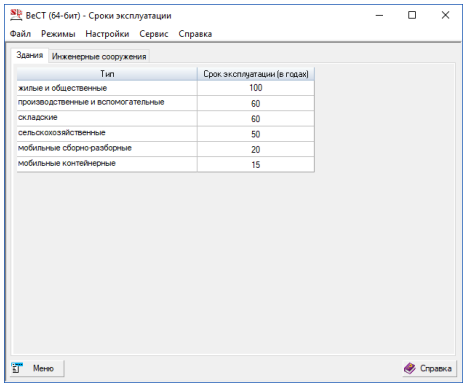


Рис. 3.3.6-1. *Диалоговое окно* **Сроки эксплуатации**

Этот режим используется только при работе по ДБН и позволяет получить справочную информацию о сроке эксплуатации зданий и сооружений в соответствии с приложением В ДБН (рис. 3.3.6-1). Эта информация необходима для назначения коэффициентов надежности по нагрузке γ_f для снеговых, ветровых и гололедно-ветровых нагрузок.

3.3.7 Нагрузки от транспортных средств

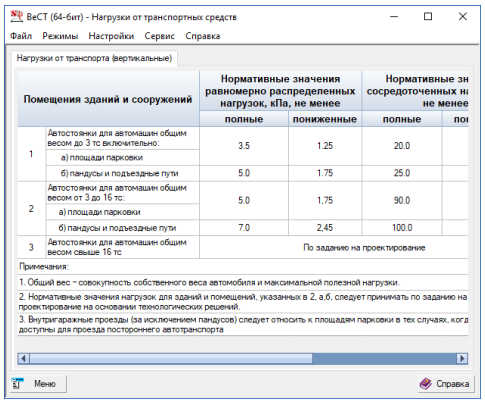


Рис. 3.3.7-1. *Диалоговое* окно **Нагрузки от транспортных средств**

Этот режим используется только при работе по СП и позволяет получить справочную информацию о вертикальных нагрузках от транспортных средств (рис. 3.3.7-1).

3.4 Расчетные режимы

При использовании СП 20.13330.2011 и режимы расчета снеговых, ветровых и гололедных нагрузок содержат специальный маркер *Строящееся здание или сооружение*, который позволяет учесть требования п.4.5 СП 20.13330.2011. В СП 20.13330.2016 снижение расчетной нагрузки для строящихся зданий и сооружений не является обязательным, поэтому данный маркер отсутствует, а учесть снижение нагрузки (допускаемое СП 20.13330.2016) можно снижением на 20% коэффициента надежности по нагрузке.

3.4.1 Собственный вес

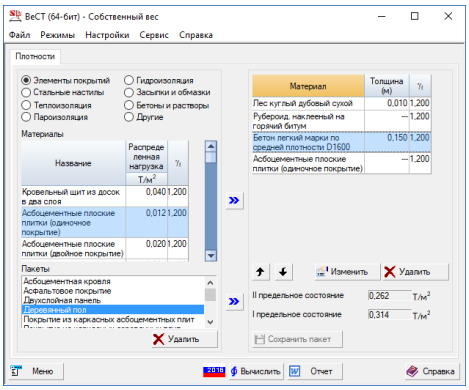


Рис. 3.4.1-1. *Диалоговое окно* **Собственный вес**

В режиме **Собственный вес** выполняется вычисление нагрузок от собственного веса пакета, набранного из некоторого числа слоев различных материалов. Эта функция реализуется в одноименном диалоговом окне (рис. 3.4.1-1), в левой половине которого представлена таблица со списком материалов, а в правой — таблица с перечнем выбранных материалов, входящих в пакет.

Для задания каждого слоя пакета необходимо выбрать группу, к которой принадлежит материал слоя. Для этого активируется маркер с наименованием соответствующей группы (элементы покрытий, стальные настилы, тепло-изоляция, пароизоляция, гидроизоляция, засыпки и обмазки, бетоны и растворы и другие). После выбора группы в левой таблице появляется список входящих в нее материалов. Каждая строка таблицы содержит наименование материала, значение его объемного веса или веса единицы площади готового конструктивного элемента, а также значение коэффициента надежности по нагрузке, соответствующего указаниям п. 2.2 СНиП, КМК, п. 7.2 СП 20.13330 и п. 6.2 ДБН.

С помощью верхней кнопки материал из выбранной (отмеченной) строки левой таблицы может быть перенесен в расположенную справа рабочую таблицу, где таким образом накапливается описание состава пакета.

Если толщина слоя фиксирована и не подлежит изменению, то в соответствующей строке таблицы стоит прочерк. В противном случае двойной щелчок левой кнопкой мыши по нужной строке рабочей таблицы открывает доступ для внесения в столбец **Толщина** данных о толщине слоя.

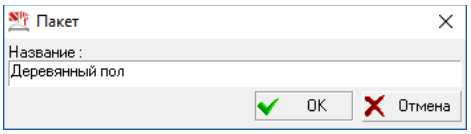


Рис. 3.4.1-2. *Диалоговое окно* **Пакет**

Состав пакета, описанный в рабочей таблице, может корректироваться с помощью кнопок **Удалить** и **Изменить**. Если набранный пакет является типовым, то его можно запомнить под любым удобным именем, воспользовавшись кнопкой **Сохранить пакет**. Нажатие на нее вызывает появление диалогового окна (рис. 3.4.1-2), в котором указывается наименование пакета.

Сохраненный пакет помещается в список **Пакеты** и может быть вызван из этого списка в рабочую таблицу с помощью нижней кнопки . Он может пополняться новыми слоями или из него могут быть удалены некоторые слои.

После нажатия кнопки **Вычислить** в полях **Нормативная нагрузка** и **Расчетная нагрузка** по СНиП, КМК или **Эксплуатационная** и **Предельная нагрузка** по ДБН выводятся соответствующие значения нагрузки на единицу площади от собственного веса заданного пакета.

3.4.2 Временные нагрузки

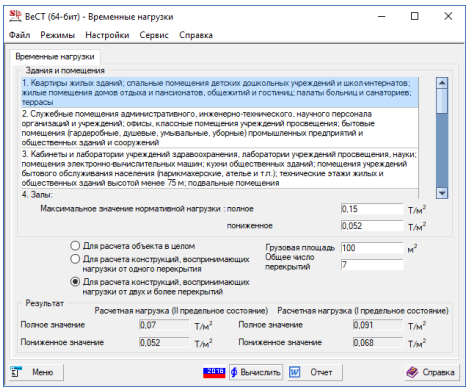


Рис. 3.4.2-1. *Диалоговое окно* **Временные нагрузки**

В этом режиме (рис. 3.4.2-1) реализуется функция выбора равномерно распределенных временных нагрузок на плиты перекрытий, лестницы, полы и т. п. в соответствии с указаниями пп. 3.5–3.9 СНиП, КМК, раздела 8.2 СП 20.13330 и пп. 6.5–6.9 ДБН.

Определяются полные и пониженные значения нормативных и расчетных нагрузок (по СНиП, КМК), полные и пониженные значения расчетных нагрузок по СП, характеристические и квазипостоянные (по ДБН) с учетом коэффициентов снижения, учитывающих величину грузовой площади, на которую действует нагрузка (см. п. 3.8 СНиП, КМК, п. 8.2.4 СП 20.13330 и п. 6.8 ДБН), и коэффициентов сочетаний, учитывающих число нагруженных перекрытий многоэтажного здания (см. п. 3.9 СНиП, КМК, 8.2.5 СП 20.13330 и п. 6.9 ДБН).

Тип помещения выбирается из списка **Здания и помещения**. Вид конструкции, для которой выполняется расчет, назначается путем активации соответствующего маркера.

Для получения значений нагрузки следует нажать кнопку **Вычислить**, при этом выводятся нормативные и расчетные значения (по СНиП), эксплуатационные, предельные и квазистатические (по ДБН) нагрузки.

3.4.3 Ветер

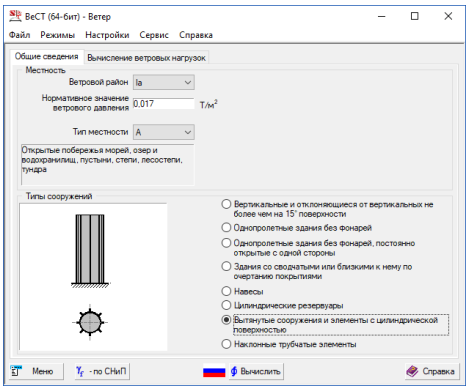


Рис. 3.4.3-1. *Страница* **Общие сведения** *Диалогового окна* **Ветер**

В этом режиме выполняется расчет ветровых нагрузок на некоторые из представленных в приложении 4 СНиП, КМК, приложении И ДБН и приложении В СП 20.13330.2016 схем зданий, сооружений и элементов конструкций. Во всех случаях определяется статическое значение ветровой нагрузки, нормальной к поверхности сооружения. Для ввода исходных данных и получения результатов используется двухстраничное диалоговое окно **Ветер**.

Первая страница **Общие сведения** (рис. 3.4.3-1) предназначена для ввода информации о типе местности и ветровом районе расположения объекта расчета. В список **Ветровой район** и поле **Нормативное значение ветрового давления** (по СНиП), **Характеристическое значение ветрового давления** (по ДБН) переносятся значения из диалогового окна **Местность** (если в нем была нажата кнопка **Применить**).

Однако возможен и независимый выбор ветрового района из одноименного списка. Если вводится отличное от рекомендаций норм нормативное значение ветрового давления, то наименование ветрового района в списке не указывается.

Если в качестве норм проектирования выбран ДБН, кнопка обеспечивает доступ к списку городов Украины, в котором (на основании Приложения Е) содержатся уточненные данные о характеристическом значении нагрузки. Если выбрать нужный город и нажать кнопку **ОК**, характеристическое значение нагрузки будет автоматически перенесено в исходные данные.

Кроме того, при определении ветровых нагрузок по ДБН необходимо указать, превышает ли старший период собственных колебаний конструкции (сооружения) 0,25 с.

Тип местности выбирается из соответствующего списка. Назначение типа сооружения реализуется с помощью соответствующей группы маркеров.

После назначения данных на странице **Общие сведения** следует перейти к следующей странице — **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-2), где задаются дополнительные исходные данные, необходимые для расчета, и представляются результаты расчета. Ниже приводится описание этого окна для различных типов сооружений.

Правило знаков при выводе значений ветрового давления для всех видов сооружений принято в соответствии с указаниями п. 6.6 СНиП и п. 9.8 ДБН, а именно: положительным считается давление ветра, направленное на соответствующую поверхность, отрицательным — направленное от поверхности.

Для некоторых типов зданий СП 20.13330 разрешает определять пульсационную составляющую ветровой нагрузки на основании формулы (11.5) без вычисления собственных частот и форм колебаний. В программе этот расчет реализуется при взведении одноименного маркера.

Ограничения реализации

Для всех сооружений (кроме навесов) и стен зданий учитывается изменение скоростного напора ветра по высоте. Для всех кровель принято, что ветровая нагрузка не меняется по высоте и соответствует отметке верхней точки покрытия.

Поверхности вертикальные и отклоняющиеся от вертикали не более, чем на 15°

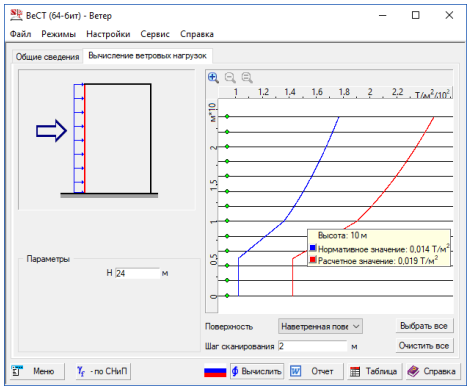


Рис. 3.4.3-2. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *Диалогового окна* **Ветер**

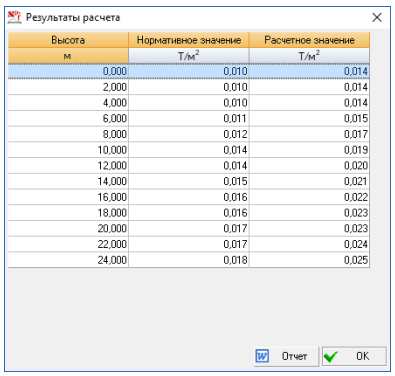


Рис. 3.4.3-3. *Окно* **Результаты расчета** *Диалогового окна* **Ветер**

При выборе этого типа сооружения (схема 1 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.1 из приложения В СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-2) вводится значение высоты сооружения *H* (при расчете по СП 20.13330.2016 задается еще и длина *L*) и указывается шаг сканирования результата (его значение по умолчанию заранее выставлено). Из выпадающего списка выбирается наименование поверхности (наветренная, подветренная), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки.

При расчетах по СП 20.13330.2016 указывается, какая зона кровли или стен будет рассматриваться.

В окне выдачи результатов приводится график изменения нагрузки по высоте. Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения нагрузки. Высоты соответствуют выбранному шагу сканирования.

Зеленые точки (метки) по оси ординат указывают промежуточные значения высоты, для которых будут выполнены вычисления. Их шаг соответствует заданному шагу сканирования. Метки можно удалять и вновь восстанавливать, подведя к ним курсор и щелкнув левой кнопкой мыши. Значения ветрового давления на отметках с неудаленными метками приводятся в таблице, которая формируется по нажатию кнопки **Таблица** и выводится в окно **Результаты расчета** (рис. 3.4.3-3).

Кнопки **Выбрать все** и **Очистить все** позволяют, соответственно, включить в таблицу (график) или убрать из таблицы (графика) все точки, соответствующие шагу сканирования.

Над графиком изменения нагрузки установлены кнопки масштабирования изображения. Знаком плюс отмечена кнопка увели-

чения масштаба, каждое нажатие которой вызывает удвоение размеров графика. Кнопка, отмеченная знаком минус, используется для пошагового уменьшения изображения и работает только после кнопки «плюс». Возврат к исходному размеру графика можно выполнить за один шаг, используя кнопку «равно».

Аналогичные кнопки используются во всех режимах, где демонстрируются графики изменения нагрузки.

Однопролетные здания без фонарей

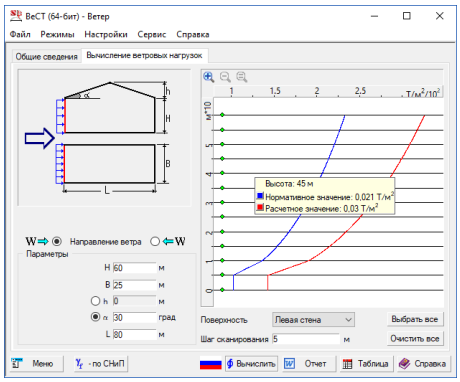


Рис. 3.4.3-4. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *Диалогового окна* **Ветер**

Для сооружений этого типа (схема 2 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.2 из СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-4) вводятся значения размеров здания. Из раскрывающегося списка выбирается наименование поверхности (кровля, левая стена, правая стена, боковые стены), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки, а маркером указывается расчетное направление ветра.

При расчетах по СП 20.13330.2016 указывается, какая зона кровли или стен будет рассматриваться.

Однопролетные здания без фонарей, постоянно открытые с одной стороны

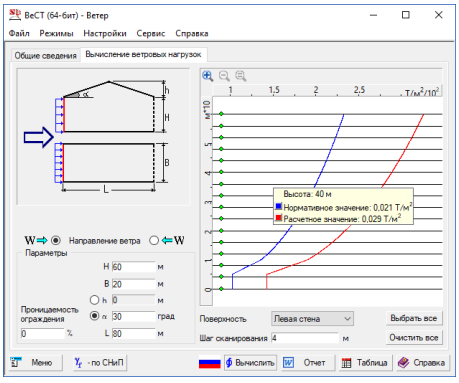


Рис. 3.4.3-5. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *Диалогового окна* **Ветер**

При выборе этого типа сооружения (схема 9 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.9 из приложения В СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-5) вводятся значения размеров здания. Из выпадающего списка выбирается наименование поверхности (кровля, левая стена, внутренние поверхности, боковые стены), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки. Маркером указывается расчетное направление ветра.

При расчетах по СП 20.13330.2016 указывается, какая зона кровли или стен будет рассматриваться.

Поскольку в этом случае рассматривается одновременное действие ветрового давления снаружи и внутри сооружения, то в качестве результата указывается суммарная нагрузка на выбранную поверхность.

Значение аэродинамического коэффициента внутреннего давления C_i при заданном значении проницаемости в диапазоне от 5% до 30% вычислено путем интерполяции между указанными в нормах граничными значениями величин.

Здания со сводчатыми и близкими к ним по очертаниям покрытиями

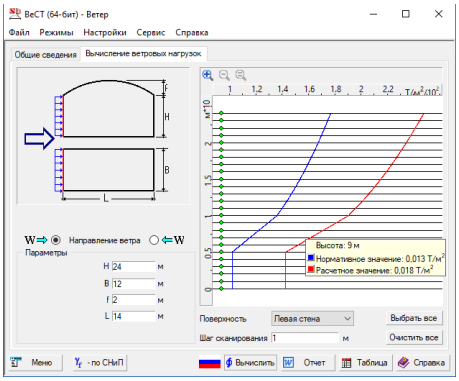


Рис. 3.4.3-6. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

При выборе этого типа сооружения (схема 3 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.3 из приложения В СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-6) вводятся значения размеров здания. Из выпадающего списка выбирается наименование поверхности (кровля, левая стена, правая стена, боковые стены), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки. Маркером указывается расчетное направление ветра.

Навесы

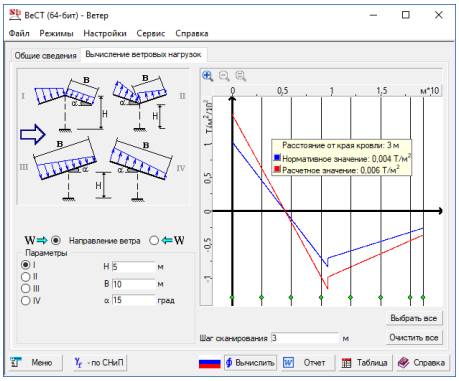


Рис. 3.4.3-7. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *Диалогового окна* **Ветер**

Для этого типа сооружения (схема 11 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.10 из приложения В СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-7) с помощью маркеров выбирается конструкция навеса, вводятся значения размеров, а также указывается расчетное направление ветра.

Значения нагрузки на кровлю представляются в форме графика, для которого возможна динамическая оцифровка, но с выбором не высотного положения расчетной точки, а ее ординаты на горизонтальной проекции кровли.

Цилиндрические резервуары

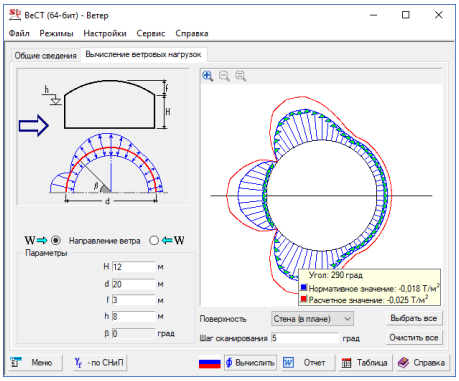


Рис. 3.4.3-8. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

При выборе этого типа сооружения (схема 12, *б* из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-8) вводятся значения размеров сооружения. Из выпадающего списка выбирается наименование поверхности (кровля сферическая, стена по высоте, стена в плане, внутреннее давление), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки. С помощью маркера следует указать расчетное направление ветра.

В представленной версии программы коническая кровля не рассматривается, поэтому наименование поверхности кровли сопровождается уточнением «сферическая».

Поскольку внутреннее давление реализуется только при отсутствии кровли или при опущенном положении плавающей кровли, то здесь значения внутреннего давления даются отдельно, без суммирования с внешним давлением на стенку. Выбор расчетного случая (суммарное значение или отдельные варианты) остается за пользователем, который к тому же должен рассмотреть различные варианты заполнения резервуара и, следовательно, начала отсчета внутреннего давления по высоте.

Для описания распределения давления по поверхности стенки резервуара используются два графика:

- в горизонтальной плоскости, лежащей на уровне, заданном параметром *h* — **Стена (в плане)** в выпадающем меню **Поверхность**;
- на вертикали, положение которой определяет угол β между радиусом, проходящим через эту вертикаль, и горизонтальной осью — **Стена (по высоте)** в выпадающем меню **Поверхность**.

В зависимости от того, какой из графиков был выбран, результатом будет:

- распределение ветрового давления в плане на заданной высоте;
- изменение ветрового давления по высоте при заданном положении вертикали.

Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью

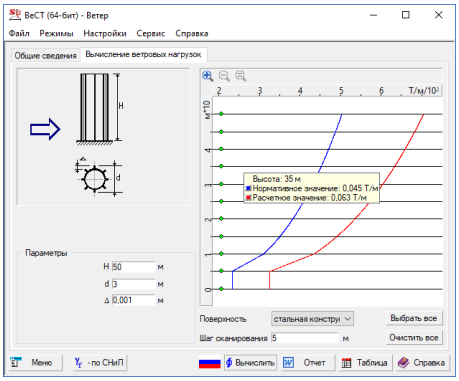


Рис. 3.4.3-9. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

Для конструкций такого типа, в отличие от ранее описанных, определяется не поверхностная, а погонная нагрузка. После выбора этого типа сооружения (схема 14 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН, схема В.1.12 из приложения В СП 20.13330.2016) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-9) необходимо задать высоту и диаметр сооружения, выбрать из выпадающего списка тип поверхности (деревянная, стальная, бетонная или железобетонная, кирпичная кладка), определив тем самым параметр шероховатости Δ. При необходимости этот параметр можно задать в соответствующем поле ввода.

Результаты вычислений представляются в форме графика изменения погонной нагрузки по высоте. Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения нагрузки.

Ограничения реализации

Значение ветрового давления зависит от числа Рейнольдса Re, для которого в нормах рассматривается диапазон значений до $Re = 3{,}2 \cdot 10^6$. При выходе из диапазона этих значений принимается, что величина аэродинамического коэффициента $C_{x\infty}$ остается постоянной.

По параметру относительной шероховатости Δ/d выполняется линейная интерполяция между графиками, представленными в схеме 14 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН. При этом в случае $\Delta/d < 10^{-4}$ и $\Delta/d > 0{,}05$ величина $C_{x\infty}$ определяется по крайним кривым.

Рекомендации по определению ветровой нагрузки на вертикальные цилиндрические конструкции

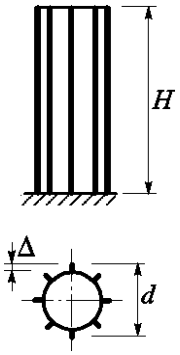


Рис. 3.4.3-10. Цилиндрическая конструкция

В некоторых случаях при определенных соотношениях диаметра и высоты цилиндра (рис. 3.4.3-10.) ветровая нагрузка, вычисленная на основании требований норм для двух цилиндров разной высоты (при всех прочих одинаковых исходных данных задачи) может отличаться в пределах общей для обоих цилиндров высоты. Этот результат противоречит физике процесса.

Это происходит вследствие того, что при определении аэродинамических коэффициентов, зависящих от числа Рейнольдса, по требованиям норм проектирования скорость ветра (используемая при определении числа Рейнольдса) принимается на уровне верха сооружения. Естественно, что с увеличением высоты число Рейнольдса возрастает, как следствие этого возрастают аэродинамические коэффициенты, которые принимаются постоянными по высоте цилиндра, и также возрастает ветровая нагрузка. Это и приводит к различным результатам на одной и той же высоте.

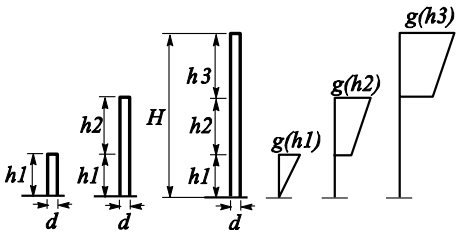


Рис. 3.4.3-11. Иллюстрация приема разбиения

В этом случае можем рекомендовать следующий прием решения задачи для цилиндрических сооружений высотой свыше 30 м:

- сооружение разбивается на несколько частей по высоте (рекомендуется высоту каждой части принимать не менее 10 м);
- решается число задач, равное числу разбиений сооружения по высоте, при этом высота сооружения в каждой из задач последовательно наращивается;
- для дальнейшего использования при расчетах принимается нагрузка на все сооружение равная сумме нагрузок на участках разбиения по высоте.

Использование предлагаемого приема иллюстрируется на рисунке 3.4.3-11.

Наклонные трубчатые элементы

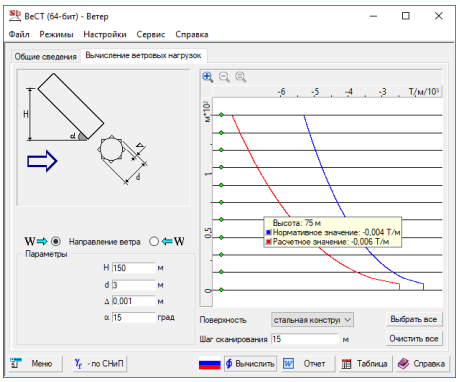


Рис. 3.4.3-12. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

При выборе этого типа сооружения (схема 18 из приложения 4 СНиП, КМК или приложения И ДБН) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.3-12) вводятся значения размеров элемента и указывается направление ветра. Здесь, как и в предыдущем случае, определяется погонная нагрузка, причем рассматривается только компонента нагрузки, нормальная к оси элемента.

Вследствие явно ошибочной формулировки для этого случая в приложении В СП 20.13330.2016, расчеты по этому нормативному документу не выполняются.

Правило знаков для нагрузки формулируется следующим образом: нагрузка является положительной, если ее проекция на вертикаль направлена вниз, т. е. эффекты веса и ветра суммируются.

Результаты вычислений представляются в форме графика изменения погонной нагрузки по высоте. Возможна динами-

ческая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения функции.

Оттяжки

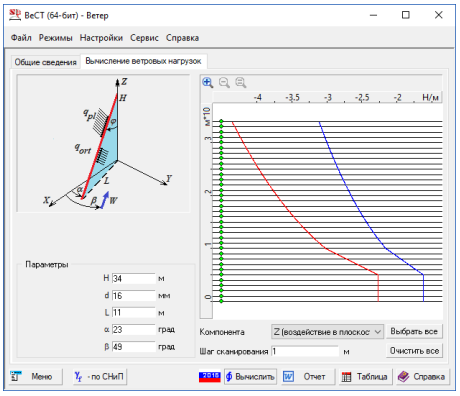


Рис. 3.4.3-13. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

Исходные данные для расчета ветровой нагрузки на оттяжки мачт (см. СП 20.13330.2011 приложение Д, рис. Д.18 и СП 20.13330.2016 приложение В, рис. В.18) задаются на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. Ветер-13) и включают параметры, определяющие положение оттяжки в пространстве, ее диаметр и направление вектора скорости ветра.

Результатом расчета являются представленные в глобальной системе координат компоненты ветрового давления на оттяжку:

$q_{pl,X}, q_{pl,Y}, q_{pl,Z}$ — действующие в плоскости провисания оттяжки;

$q_{ort,X}, q_{pl,Y}$ — направленные перпендикулярно плоскости провисания.

Такое разделение требуется в связи с тем, что при нелинейном расчете используется компонента $q_{pl,Z}$ просуммированная с нагрузкой от собственного веса оттяжки.

Результаты вычислений представляются в форме графика изменения нагрузки по высоте. Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран выводятся значения функции.

3.4.4 Ветер. Пульсации

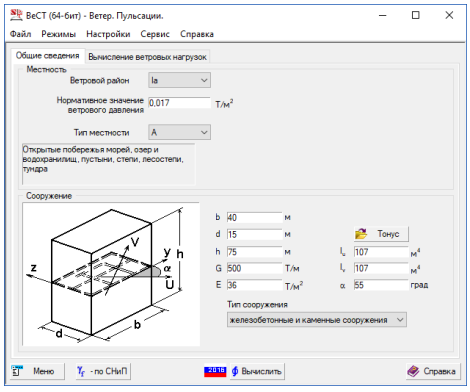


Рис. 3.4.4-1. *Страница* **Общие сведения**

В этом режиме выполняется расчет ветровых нагрузок на здания и сооружения, которые являются призматическими, прямоугольными в плане с постоянной по высоте жесткостью либо могут быть приближенно представлены таковыми (схема 13 приложения 4 СНиП, КМК).

В отличие от режима **Ветер** (см. выше), в этом режиме, помимо статической ветровой нагрузки, оценивается динамическое действие пульсаций и приводятся рекомендации о необходимости выполнения подробных динамических расчетов. Кроме того, здесь дается оценка коэффициента динамичности, на основании которой можно принимать решение о необходимости детального анализа и учета пульсационной составляющей.

Особенности реализации

Вычисляется пульсационная составляющая ветровой нагрузки по п. 6.7, *в* СНиП, КМК, при этом всегда учитывается требование п. 6.8 об учете сил инерции при колебаниях с частотами, большими предельных.

Для ввода исходных данных и получения результатов используется двухстраничное диалоговое окно **Ветер. Пульсации** (рис. 3.4.4-1 и 3.4.4-2).

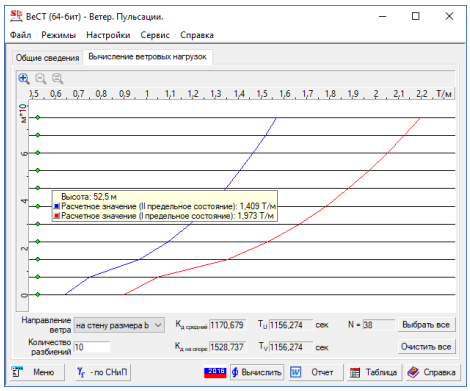


Рис. 3.4.4-2. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

Первая страница **Общие сведения** (рис. 3.4.4-1) предназначена для ввода информации о типе местности и ветровом районе расположения объекта расчета. В список **Ветровой район** и поле **Нормативное значение ветрового давления** переносятся значения из диалогового окна **Местность** (если в нем была нажата кнопка **Применить**). Однако возможен и независимый выбор ветрового района из одноименного списка. Назначение типов местности и сооружения реализуется с помощью одноименных списков.

На этой же странице задаются: размеры плана здания, его высота, вес погонного метра здания по высоте (с учетом веса перекрытий и длительно действующей временной нагрузки), а также среднее значение модуля упругости материала несущих конструкций. Необходимо задать: главные моменты инерции относительно осей U, V, а также угол поворота осей U, V по отношению к осям Y, Z, вдоль которых действует ветровая нагрузка.

Предусмотрена возможность определить геометрические характеристики плана здания с помощью программы **ТОНУС**. Вычисленные в **ТОНУС** характеристики загружаются из файла с расширением **.tns** (кнопка Тонус).

Здание в плане должно быть прямоугольным. Естественно, что многие реальные здания и сооружения могут быть представлены прямоугольными в плане лишь приближенно, приближенными будут и результаты расчета.

В случае если внешний контур здания образован не несущими, а ограждающими конструкциями (например, как в каркасных зданиях), то моменты инерции могут быть найдены как для многоточечного сечения. При использовании программы **ТОНУС** в таком случае необходимо указать размещение в плане и размеры поперечных сечений всех несущих элементов.

Отметим, что точное вычисление пульсационной составляющей в соответствии с пп. 6.7–6.9 СНиП требует знания форм и частот собственных колебаний, то есть детальной информации обо всей конструкции. В программе **ВеСТ** они приближенно определяются как для консольного стержня, жесткость которого постоянна по высоте и соответствует жесткости стержня с поперечным сечением, образованным несущими стенами здания.

После назначения данных на странице **Общие сведения** следует перейти к следующей странице — **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.4-2), где задаются:

- направление ветра («на стену размера b», «на стену размера d» или «по диагонали»);
- количество участков, на которые здание разбивается по высоте и в которых будут получены результаты (см. п. 6.7,*в* СНиП, КМК).

Результаты вычислений представляются в форме графика изменения статической составляющей ветровой нагрузки (нормативное и расчетное значения) по высоте. Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения функции.

Кроме того, результатом работы являются также два значения коэффициента динамичности:

- по перемещениям — осредненное отношение пульсационной составляющей ветровой нагрузки к ее статической компоненте;
- по общему изгибающему моменту в основании — отношение пульсационной составляющей изгибающего момента в основании здания к соответствующему статическому значению.

Ориентируясь на эти значения, пользователь может принять решение о выполнении (или невыполнении) детального динамического расчета конструкции здания. Можно рекомендовать отказ от

динамического расчета при коэффициентах динамичности, меньших 0,2, и обязательное выполнение таких расчетов при значениях этих коэффициентов, превышающих 0,4.

Для обеспечения дополнительного контроля на данной странице приводятся также значения старших периодов собственных колебаний при колебаниях в плоскостях U и V.

3.4.5 Полный ветер

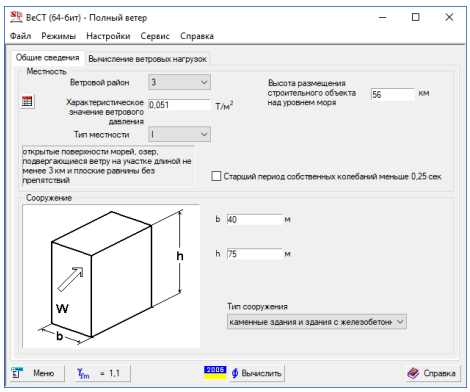


Рис. 3.4.5-1. *Страница* **Общие сведения**

В этом режиме выполняется вычисление ветровых нагрузок с учетом динамического действия пульсационной составляющей для вертикальных призматических и цилиндрических сооружений высотой не более 200 м с практически постоянной по высоте жесткостью по пп. 9.4–9.13 ДБН. Проекция сооружения на вертикальную плоскость в направлении, перпендикулярном плоскости действия ветра, должна соответствовать схемам 13, 14 приложения И ДБН.

При задании исходных данных необходимо указать, превышает ли старший период собственных колебаний конструкции (сооружения) 0,25 с.

В отличие от режима **Ветер** (см. выше), в этом режиме, помимо статической ветровой нагрузки, оценивается динамическое действие пульсаций и их взаимная корреляция по высоте.

Особенности реализации

При вычислении полной ветровой нагрузки по пп. 9.4–9.13 ДБН коэффициент направления C_{dir} и коэффициент рельефа C_{rel} приняты равными 1,0.

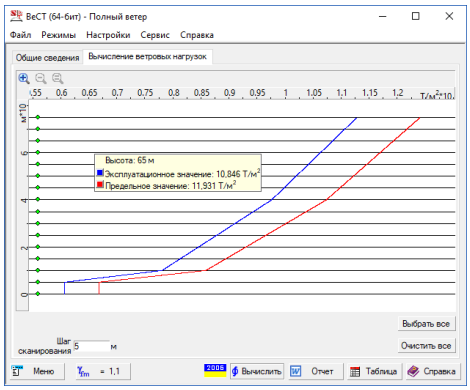


Рис. 3.4.5-2. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

Для ввода исходных данных и получения результатов используется двухстраничное диалоговое окно **Полный ветер**.

Первая страница **Общие сведения** (рис. 3.4.5-1) предназначена для ввода информации о типе местности и ветровом районе расположения объекта расчета. В список **Ветровой район** и поле **Характеристическое значение ветрового давления** переносятся значения из диалогового окна **Местность** (если в нем была нажата кнопка **Применить**). Однако возможен и независимый выбор ветрового района из одноименного списка. Кнопка обеспечивает доступ к списку городов Украины, в котором (на основании Приложения Е) содержатся уточненные данные о характеристическом значении нагрузки. Если выбрать нужный город и нажать кнопку **OK**, характеристическое значение нагрузки будет автоматически перенесено в исходные данные. Назначение типов местности и сооружения реализуется с помощью одноименных списков.

На этой же странице задаются: размеры плана здания в направлении, перпендикулярном плоскости действия ветра, и его высота.

Здание (сооружение) в плане должно быть прямоугольным или круглым. Естественно, что многие реальные

здания и сооружения могут быть представлены такими лишь приближенно, приближенными будут и результаты расчета.

На странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.5-2) результаты вычислений представляются в форме графика изменения полной ветровой нагрузки (эксплуатационное и предельное значения) по высоте. Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения функции.

3.4.6 Пиковая ветровая нагрузка

В этом режиме вычисляются значения локальных ветровых воздействий по СП 20.13330, которые могут оказаться решающими для элементов стеновых или кровельных ограждений, а также для их креплений. Эти нагрузки могут быть положительными (ветровое давление) или отрицательными (отсос), а их величина зависит от площади ограждения, с которой собирается нагрузка, и его расположения. Рассматриваются прямоугольные в плане здания с плоскими кровлями или здания, приближенно считающиеся такими.

Для ввода исходных данных и получения результатов используется двухстраничное диалоговое окно **Ветер. Пиковая нагрузка** (рис. 3.4.6-1 и 3.4.6-2).

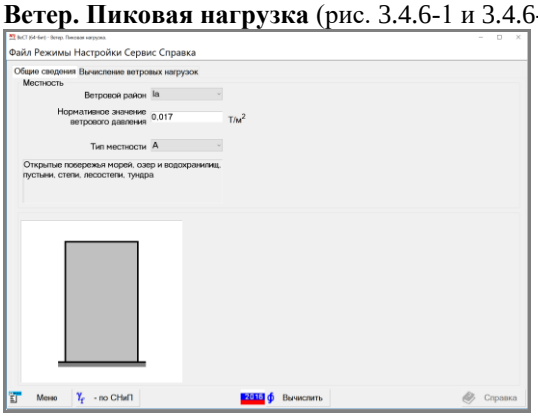


Рис. 3.4.6-1. *Страница* **Общие сведения**

Первая страница **Общие сведения** (рис. 3.4.6-1) предназначена для ввода информации о типе местности и ветровом районе расположения объекта расчета. В список **Ветровой район** и поле **Нормативное значение ветрового давления** переносятся значения из диалогового окна **Местность** (если в нем была нажата кнопка **Применить**). Однако возможен и независимый выбор ветрового района из одноименного списка. Назначение типа местности реализуется с помощью одноименного списка.

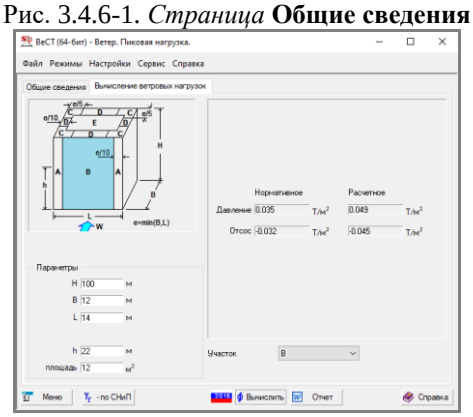


Рис. 3.4.6-2. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

На странице **Вычисление ветровых нагрузок** указывается, какой участок кровли или стен будет рассматриваться, вводятся значения размеров здания, площадь пятна сбора нагрузки (рис. 3.4.6-2). Для участков, расположенных на стенах, задается высота, на которой следует вычислить нормативные и расчетные значения давления и отсоса.

3.4.7 Ветер (EN 1991-1-4)

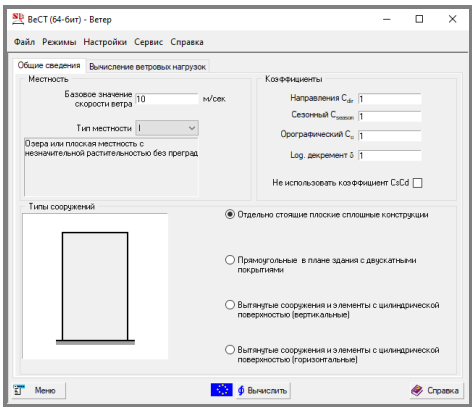


Рис. 3.4.7-1. *Страница* **Общие сведения** *диалогового окна* **Ветер**

В этом режиме выполняется расчет ветровых нагрузок на некоторые из представленных в EN 1991-1-4 схем зданий, сооружений и элементов конструкций. Во всех случаях определяется значение ветровой нагрузки, нормальной к поверхности сооружения. Предполагается, что поверхности являются непроницаемыми. Для ввода исходных данных и получения результатов используется двухстраничное диалоговое окно **Ветер**.

Первая страница **Общие сведения** (рис. 3.4.7-1) предназначена для ввода информации о типе местности и базовом значении скорости ветра.

Кроме того, следует задать значения следующих коэффициентов:

- C_{dir} — коэффициент учитывающий направление ветра (см. п. 4.2(2) EN 1991-1-4);
- C_{season} — сезонный коэффициент (см. п. 4.2(2) EN 1991-1-4);
- орографический коэффициент C_o (см. п. 4.3.3 EN 1991-1-4);
- логарифмический декремент затухания (см. Приложение F.5 EN 1991-1-4).

По умолчанию ветровая нагрузка определяется с учетом конструкционного коэффициента C_sC_d. Поскольку п. 6.2 EN 1991-1-4 допускает во многих случаях этот коэффициент не учитывать, то соответствующий маркер позволяет отказаться от использования этого коэффициента.

Правило знаков при выводе значений ветрового давления для всех видов сооружений принято следующим: положительным считается давление ветра, направленное на соответствующую поверхность, отрицательным — направленное от поверхности.

В программе предусмотрен расчет для следующих схем:

- Отдельно стоящие плоские сплошные конструкции;
- Прямоугольные в плане здания с двускатными покрытиями;
- Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью (вертикальные);
- Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью (горизонтальные).

Отдельно стоящие плоские сплошные конструкции

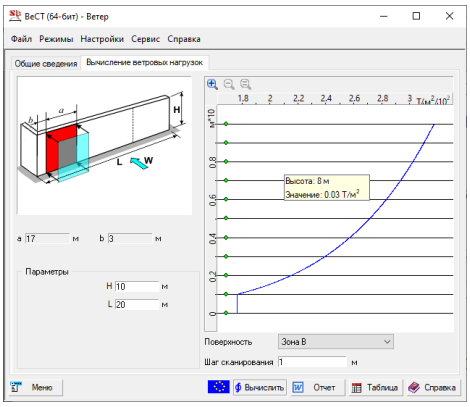


Рис. 3.4.7-2. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *диалогового окна* **Ветер**

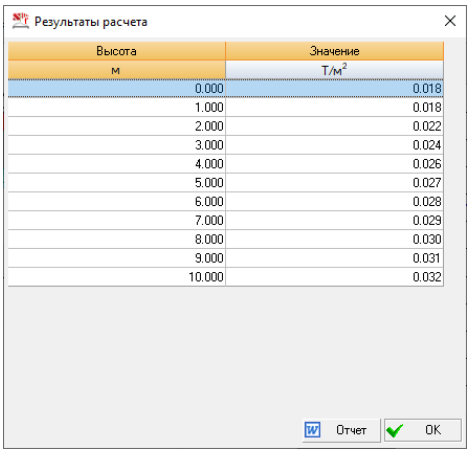


Рис. 3.4.7-3. *Окно* **Результаты расчета** *диалогового окна* **Ветер**

При выборе этого типа сооружения (п. 7.4.1 EN 1991-1-4) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.7-2) вводится значение высоты сооружения *H*, его длина *L* и указывается шаг сканирования результата. Из выпадающего списка выбирается зона (A,B,C или D), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки.

В окне выдачи результатов приводится график изменения ветрового давления по высоте (кроме того, указываются размеры зоны). Возможна динамическая оцифровка этого графика, когда для указанного курсором значения высоты на экран монитора выводятся значения нагрузки. Высоты соответствуют выбранному шагу сканирования.

Зеленые точки (метки) по оси ординат указывают промежуточные значения высоты, для которых будут выполнены вычисления. Их шаг соответствует заданному шагу сканирования. Метки можно удалять и вновь восстанавливать, подведя к ним курсор и щелкнув левой кнопкой мыши. Значения ветрового давления на отметках с неудаленными метками приводятся в таблице, которая формируется по нажатию кнопки **Таблица** и выводится в окно **Результаты расчета** (рис. 3.4.7-3).

Над графиком изменения нагрузки установлены кнопки масштабирования изображения. Знаком плюс отмечена кнопка увеличения масштаба, каждое нажатие которой вызывает удвоение размеров графика. Кнопка, отмеченная знаком минус, используется для пошагового уменьшения изображения и работает только после кнопки «плюс». Возврат к исходному размеру графика можно выполнить за один шаг, используя кнопку «равно».

Аналогичные кнопки используются во всех режимах, где демонстрируются графики изменения нагрузки.

Прямоугольные в плане здания с двускатными покрытиями

При выборе этого типа сооружения (п. 7.2.5 EN 1991-1-4) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.7-4) вводится значение высоты сооружения *H*, его длина *L* и указывается шаг сканирования результата. Из выпадающего списка выбирается зона (A-J), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки.

Если требуется учет проницаемости, то следует взвести одноименный маркер и ввести величину степени проницаемости μ. Для тех случаев, когда величина μ неизвестна, можно использовать маркер **μ неизвестно** и в этом случае программа произведет вычисления в соответствии с примечанием 2 п. 7.2.9 EN 1991-1-4.

Для тех случаев, когда ветер действует параллельно

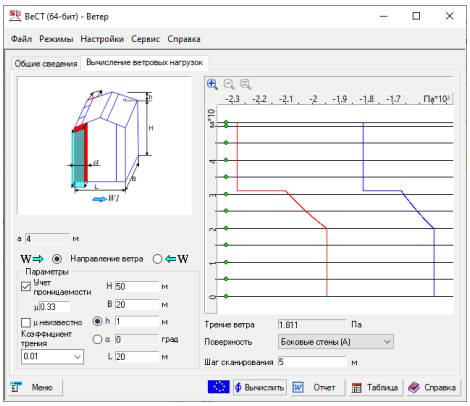


Рис. 3.4.7-4. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок** *диалогового окна* **Ветер**

наружной поверхности **ВЕСТ** вычисляет так же величину давления, которое соответствует трению ветра. Для этих случаев следует задать коэффициент трения.

В окне выдачи результатов для стен приводится график изменения ветрового давления по высоте или величина ветрового давления для различных зон кровли. Для каждой зоны приводятся значения ветрового давления для расчета конструкции в целом и для расчета малых элементов конструкции (площадью не более 1 м^2).

Для достаточно высоких зданий (при соотношении высоты к длине обдуваемой поверхности больше 5) EN 1991-1-4 не дает рекомендаций для вычисления ветрового давления. В этих случаях можно получить величины погонных нагрузок в зависимости от высоты.

Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью (вертикальные)

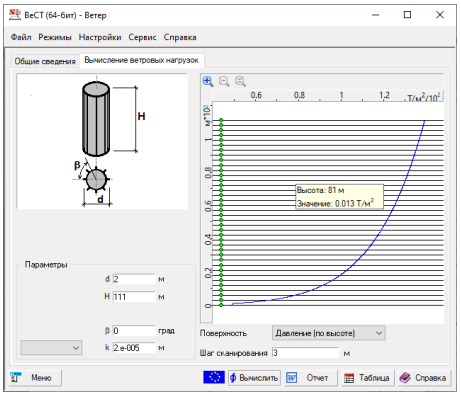


Рис. 3.4.7-5. *Страница* **Вычисление ветровых нагрузок**

При выборе этого типа сооружения (п. 7.9 EN 1991-1-4) на странице **Вычисление ветровых нагрузок** (рис. 3.4.7-5) вводятся значения размеров сооружения. Из выпадающего списка выбирается наименование поверхности (цилиндр в плане, давление по высоте или нагрузка по высоте), для которой следует вычислить значения ветровой нагрузки.

Для описания распределения давления по поверхности используются два графика:

- в горизонтальной плоскости, лежащей на уровне, заданном параметром *h* — **Цилиндр в плане** в выпадающем меню **Поверхность**;
- на вертикали, положение которой определяет угол β между радиусом, проходящим через эту вертикаль, и горизонтальной осью — **Цилиндр (по высоте)** в выпадающем меню **Поверхность**.

В зависимости от того, какой из графиков был выбран, результатом будет:

- распределение ветрового давления в плане на заданной высоте;
- изменение ветрового давления по высоте при заданном положении вертикали.

На величину ветрового давления влияет величина *k* (эквивалентная шероховатость). Эту величину можно явно задать или выбрать из выпадающего списка материал поверхности и соответствующая величина *k* будет заполнена в соответствии с таблицей 7.13 EN 1991-1-4.

Если выбран вариант **Нагрузка (по высоте)**, то результатом является график изменения погонной нагрузки.

Вытянутые сооружения и элементы с цилиндрической поверхностью (горизонтальные)

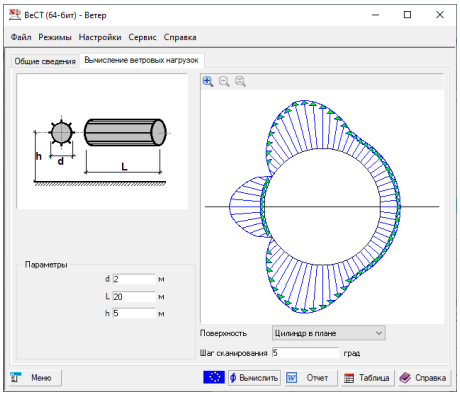


Рис. 3.4.7-6. *Страница*
Вычисление ветровых нагрузок

Расчет данного типа конструкций аналогичен предыдущему случаю. Разница состоит в том, что ввиду горизонтального расположения давление и погонная нагрузка не изменяются в зависимости от рассматриваемого сечения цилиндра; так что в обоих этих случаях результатом является не график, а одно число.

3.4.8 Снег. Однопролетные здания

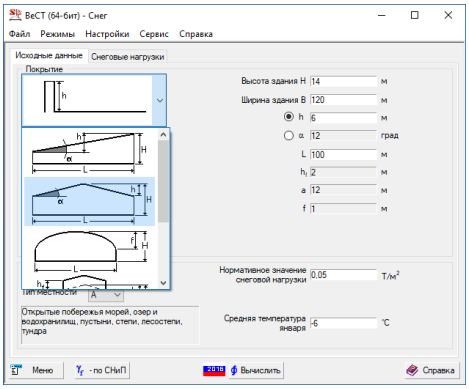


Рис. 3.4.8-1. *Страница*
Исходные данные

В этом режиме вычисляются снеговые нагрузки на однопролетные здания, профили покрытий которых соответствуют схемам 1, 2, 3, 10 по приложению 3 СНиП, КМК или приложению Ж ДБН, а также по схемам Г.1, Г.2.1, Г.3.1, Г.10 приложения Г СП 20.13330.2011, схемам Б.1, Б.2 (1), Б3(1), Б13 приложения Б СП 20.13330.2016.

Страница **Исходные данные** (рис. 3.4.8-1) предназначена для ввода информации о профиле покрытия и снеговом районе, в котором расположен объект расчета. В группе данных **Местность** из выпадающего списка выбирается снеговой район, после чего назначается соответствующее ему нормативное (по СНиП, КМК, СП), характеристическое (по ДБН) значение снеговой нагрузки. Для расчета необходимо также задать среднюю температуру января и среднюю скорость ветра зимой (только при расчетах по СНиП, КМК и СП).

Особенности реализации

Согласно п. 5.3 СНиП, КМК и п. 10.4 СП 20.13330 «В тех случаях, когда более неблагоприятные условия работы элементов конструкций возникают при частичном загружении, следует рассматривать схемы со снеговой нагрузкой, действующей на половине или четверти пролета». В программе всегда вычисляется нагрузка на всей длине пролета. Предполагается, что использование нагрузки, приложенной на часть пролета, будет выполнено пользователем самостоятельно.

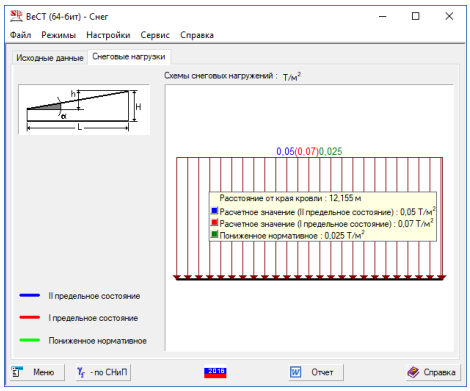


Рис. 3.4.8-2. *Страница* **Снеговые нагрузки** (*односкатная кровля*)

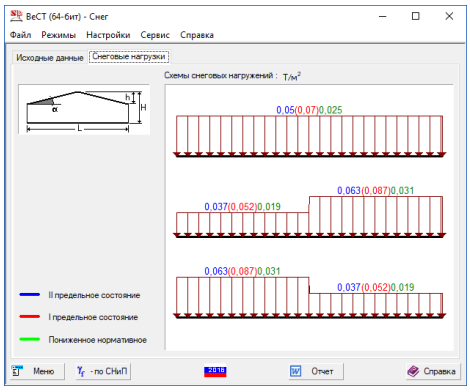


Рис. 3.4.8-3. *Страница* **Снеговые нагрузки** (*двускатная кровля*)

Все климатические данные будут введены автоматически, если в диалоговом окне **Местность** был выбран снеговой район и нажата кнопка **Применить**. Для некоторых норм проектирования (например, ДБН) кнопка обеспечивает доступ к списку городов, в котором содержатся уточненные данные о значении нагрузки. Если выбрать нужный город и нажать кнопку **ОК**, значение нагрузки автоматически переносится в исходные данные.

Выбор профиля покрытия здания осуществляется с помощью функциональных кнопок с его изображением. Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить** или указания на закладку **Снеговые нагрузки**.

При расчетах по СП 20.13330.2016 маркер **Экстремальное воздействие** позволяет получить результат в соответствии с требованиями СП 296.1325800. При этом следует ввести коэффициент надежности по экстремальной нагрузке γ_a. Поскольку при этом речь идет об особых воздействиях, результаты для второго предельного состояния отсутствуют.

Маркер **Не учитывать снос снега** позволяет отказаться от учета возможного сноса снега ветром, например, в случаях указанных в п. 10.6 СП 20.13330.

Для покрытия с односкатной кровлей (рис. 3.4.8-2) существует только одна схема расположения нагрузки, для которой указываются нормативное и расчетное (по СНиП, КМК), расчетные по СП или эксплуатационное и предельное (по ДБН) значения.

Для покрытия с двускатной кровлей (рис. 3.4.8-3) могут существовать одна или две схемы расположения нагрузки (в зависимости от наклона кровли), для каждой из них указываются нормативное и расчетное (по СНиП, КМК), расчетные по СП или эксплуатационное и предельное (по ДБН) значения нагрузки.

Для покрытия со сводчатой или близкой к ней конфигурацией (рис. 3.4.8-4) существуют три схемы расположения нагрузки, для каждой из которых выводится график распределения.

Причем, эти графики по СП 20.13330 (рис. 3.4.8-4, *а*) отличаются от графиков по СНиП, КМК и ДБН (рис. 3.4.8-4, *б*).

Графики можно сканировать (динамическая оцифровка) подобно тому, как это было описано выше в разделе, посвященном ветровым нагрузкам.

а *б*

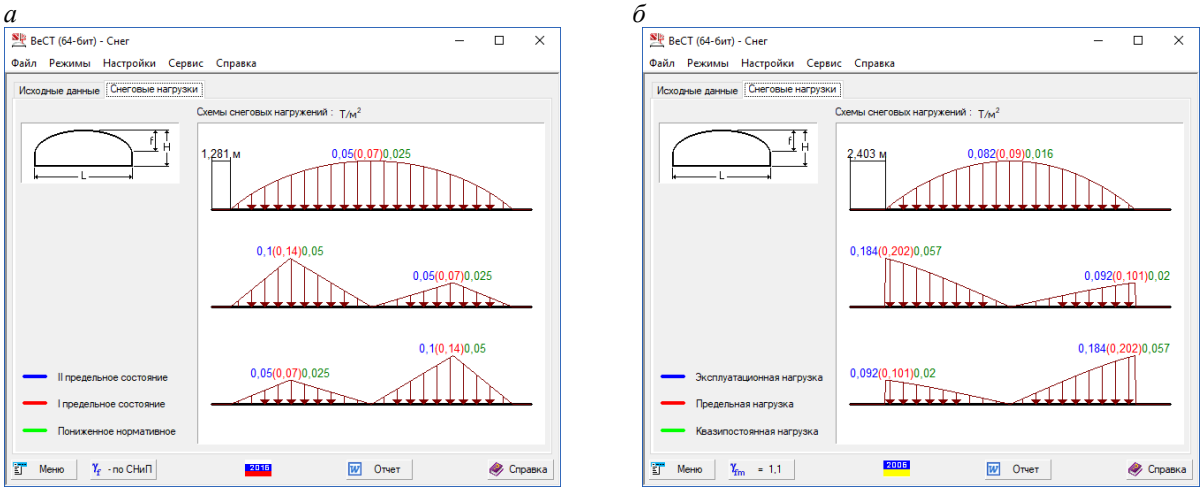
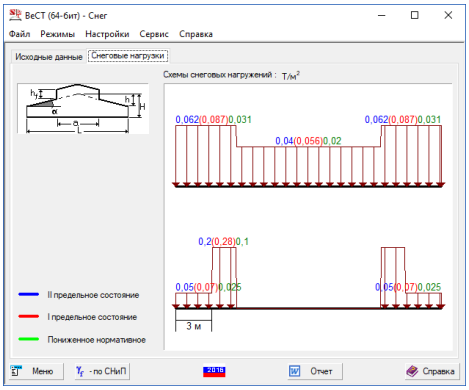
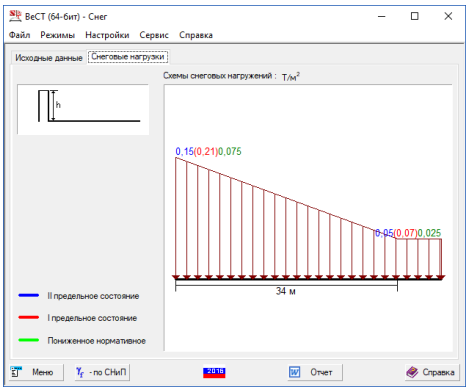


Рис. 3.4.8-4. *Страница* **Снеговые нагрузки** (*сводчатое покрытие*)
а) по СП, *б*) по СНиП и ДБН



Для покрытия с продольным фонарем для зоны покрытия, включающей в себя фонарь (рис. 3.4.8-5), существуют две схемы расположения нагрузки, для каждой из них выводится график распределения нагрузок.

Рис. 3.4.8-5. *Страница*
Снеговые нагрузки
(*покрытие с продольным фонарем*)



Для покрытия с парапетами (рис. 3.4.8-6) существует одна схема расположения нагрузки, для которой выводится график распределения.

В том случае, когда снеговую нагрузку у парапета не следует учитывать, график нагрузки имеет нулевые значения.

Рис. 3.4.8-6. *Страница*
Снеговые нагрузки
(*покрытие с парапетами*)

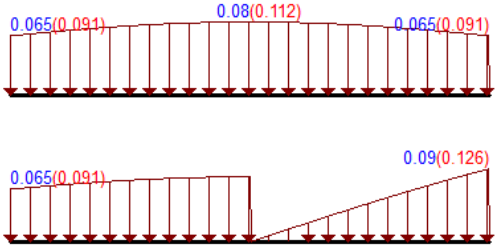
Ограничения реализации

Для схемы 3 (здания с продольным фонарем) снеговая нагрузка определяется только в зоне фонаря (зона С в обозначениях СНиП, КМК, СП и ДБН).

Не реализовано примечание 3 к схеме 3 по СНиП, КМК и к схеме Г.3.1 по СП 20.13330.2011, Б.3(1) 20.13330.2016.

Об изменении № 1 СНиП 2.01.07-85 Республики Беларусь

На странице 2 СНиП для схемы 2 на рисунке неверно указаны μ_1, μ_2. Если формально реализовать то, что там написано, то мы получим следующую физически нереализуемую схему нагружения.



Это видно из формулы для μ_1=cos 1.8α. В середине (при этом α=0) мы не получим нулевое значение нагрузки. При вычислениях в программе **Вест** для этого случая используются формулы СНиП 2.01.07-85 без учета вышеупомянутого изменения.

3.4.9 Снег. Двухпролетные здания

В этом режиме вычисляются снеговые нагрузки на двухпролетные здания, профили покрытий которых соответствуют схемам 1б, 4, 5, 6, 7, 8а по приложению 3 СНиП, КМК или по приложению Ж ДБН, а также схемам Г1*б*, Г4, Г5, Г6, Г7, Г8*а* по приложению Г СП 20.13330.2011, схемам Б1б, Б4, Б5, Б6, Б7, Б8*а* СП 20.13330.2016.

Двухпролетные здания образуются путем выбора схемы левого и правого пролетов. Каждый из пролетов схематически может быть представлен двумя односкатными (уклон вправо или влево), двускатным, двускатным с продольным фонарем и сводчатым покрытием. Таким образом, компонуются 25 различных схем двухпролетного здания.

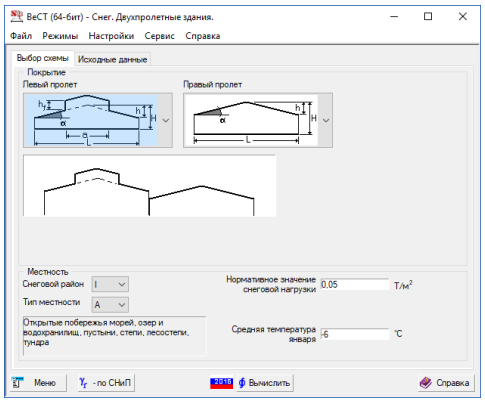


Рис. 3.4.9-1. *Страница* **Выбор схемы**

В каждом из двухпролетных зданий возможен перепад высот на стыке пролетов. Высота перепада отсчитывается от крайней правой точки покрытия левого пролета до крайней левой точки покрытия правого пролета. Во всех случаях принято, что ***левое покрытие не ниже, чем правое***.

Перепад высот определяется автоматически при анализе исходных данных выбранной схемы.

В случаях, когда перепад высот отсутствует или меньше минимального значения, регламентируемого примечанием 3 к схеме 8, дополнительная нагрузка от снегового мешка на правое (пониженное) покрытие не учитывается.

В случае, когда двухпролетное здание образовано двумя односкатными покрытиями со скатами, направленными в одну сторону (шедовые покрытия по схеме 4 приложения 3 СНиП, приложения Ж ДБН, приложения Г4 СП 20.13330.2011, Б4 СП 20.13330.2016), снеговая нагрузка не зависит от перепада высот пролетов.

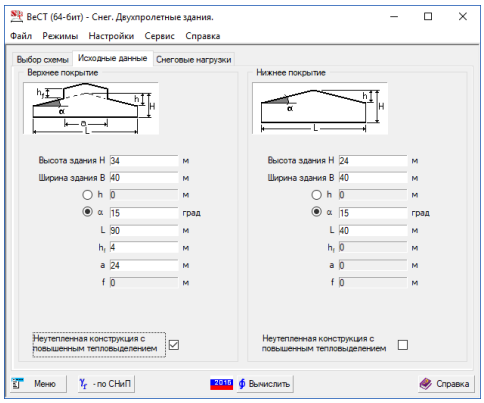


Рис. 3.4.9-2. *Страница* **Исходные данные**

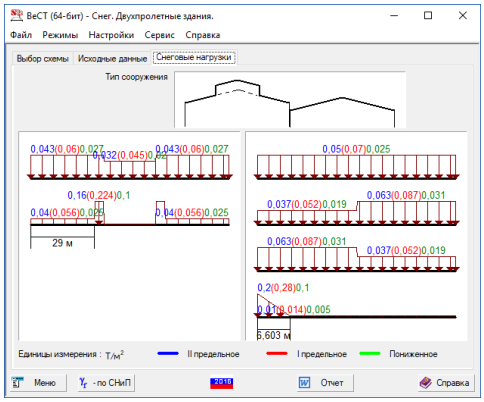


Рис. 3.4.9-3. *Страница* **Снеговые нагрузки** *(на правом покрытии есть дополнительная нагрузка от снегового мешка)*

Для двухпролетных зданий (двускатных и сводчатых) в случае, когда перепад высот равен нулю либо не учитывается в соответствии с примечанием 3 к схемам 8 СНиП, КМК, Г8 СП 20.13330.2011, Б8 СП 20.13330.2016 приложений 2 СНиП, Г СП 20.13330.2011, Б СП 20.13330.2016, снеговая нагрузка определяется по схемам 5, 6 приложений 2 СНиП, КМК, Г5, Г6 приложения Г СП 20.13330.2011, Б5, Б6 приложения Б СП 20.13330.2016.

Во всех остальных случаях снеговая нагрузка определяется по схемам 8*а* приложений 2 СНиП, КМК, Г8*а* приложения Г СП 20.13330.2011 и Б8*а* приложения Б СП 20.13330.2016.

В результате расчета определяется снеговая нагрузка на проекции правого и левого пролетов двухпролетного здания и, в необходимых случаях, дополнительная нагрузка (от снегового мешка) на правое здание.

Режим содержит три страницы:

- **Выбор схемы**;
- **Исходные данные**;
- **Снеговые нагрузки**.

На странице **Выбор схемы** выбирается схема здания и задаются общие для всего здания исходные климатические данные. Двухпролетные здания образуются путем выбора схемы левого и правого пролетов из выпадающих списков. Выбранная схема здания (рис. 3.4.9-1) отображается в центральном окне страницы.

В группе данных **Местность** из выпадающего списка выбирается снеговой район, после чего назначается соответствующее ему нормативное (по СНиП, КМК), расчетное (по СП) или характеристическое (по ДБН) значение снеговой нагрузки. Для расчета необходимо также задать среднюю температуру января и среднюю скорость ветра зимой (только при расчетах по СНиП, КМК и по СП 20.13330.2011). В СП 20.13330.2016 средняя скорость ветра не фигурирует.

Все климатические данные будут введены автоматически, если в диалоговом окне **Местность** был выбран район строительства. В этой части режим тождествен режиму **Снег** при определении снеговой нагрузки на однопролетные здания.

На странице **Исходные данные** задаются данные о схеме и конструкции покрытий левого и правого (рис. 3.4.9-2) пролетов.

Задание исходных данных выполняется так же, как и задание данных для однопролетных зданий.

Страница **Снеговые нагрузки** аналогична одноименной странице для однопролетных зданий.

На этой странице представлены графики расчетных и нормативных значений снеговых нагрузок на левое и правое покрытия, а также, в необходимых случаях, дополнительная нагрузка на правое покрытие от снегового мешка (рис. 3.4.9-3).

Ограничения реализации

В схеме 8а приложения 3 СНиП, КМК и приложения Ж ДБН, а также в схеме Г8а приложения Г СП 20.13330.2011, Б СП 20.13330.2016 рассматриваются только здания (вариант *а*) и навесы (вариант *в*), а пониженные покрытия, перпендикулярные основному зданию (вариант *б*), не рассматриваются.

В программе не рассматриваются случаи разновысоких зданий, у которых ширины пролетов (размер из плоскости чертежа) различны для смежных пролетов. Это можно видеть из того, что в составе исходных данных отсутствует размер *a*.

3.4.10 Снег (EN 1991-1-3)

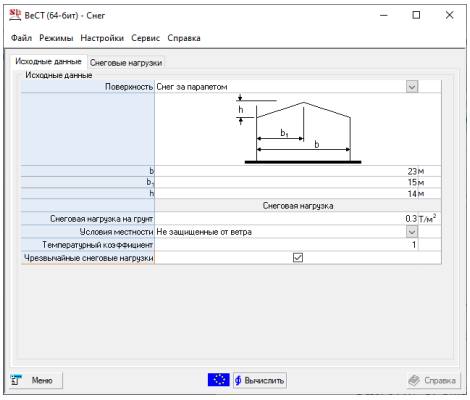


Рис. 3.4.10-1. *Страница* **Исходные данные**

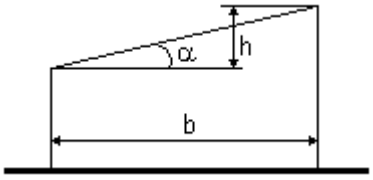
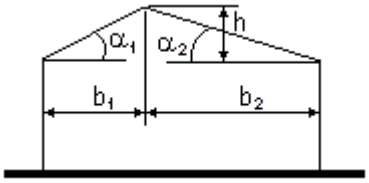
В этом режиме вычисляются снеговые нагрузки на следующие виды покрытий:

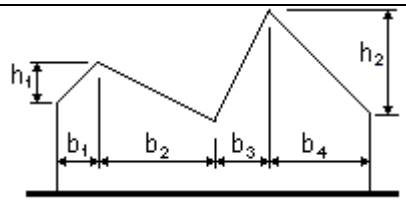
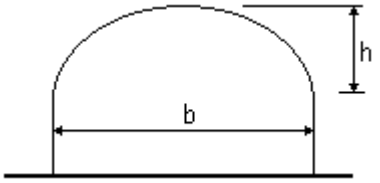
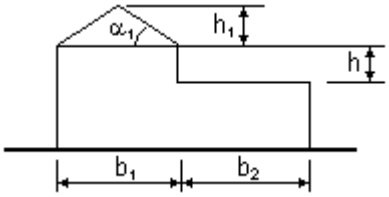
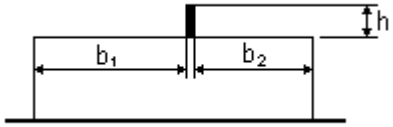
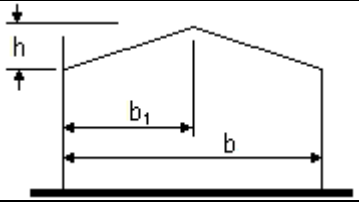
- Односкатное покрытие;
- Двускатное покрытие;
- Двух- и многопролетные покрытия;
- Цилиндрические покрытия;
- Покрытия с перепадом высот;
- Сугробы у надстроек и заграждений;
- Сугробы у парапетов.

Страница **Исходные данные** (рис. 3.4.10-1) предназначена для ввода информации о профиле покрытия и снеговом районе, в котором расположен объект расчета.

В группе данных **Снеговая нагрузка** задается снеговая нагрузка на грунт и температурный коэффициент C_t (см. п. 5.2(8) EN 1991-1-3). Из выпадающего списка выбираются **Условия местности** (не защищенные от ветра, обычные или закрытые). В зависимости от состояния маркера **Чрезвычайные снеговые нагрузки** будет выполнен расчет обычной или экстремальной снеговой нагрузки.

Тип покрытия выбирается из выпадающего списка. После выбора нужного типа следует ввести необходимые геометрические параметры конструкции:

Тип покрытия	Геометрические параметры
Односкатное покрытие	
Двускатное покрытие	

Двух- и многопролетные покрытия	
Цилиндрические покрытия	
Покрытия с перепадом высот	
Сугробы у надстроек и заграждений	
Сугробы у парапетов	

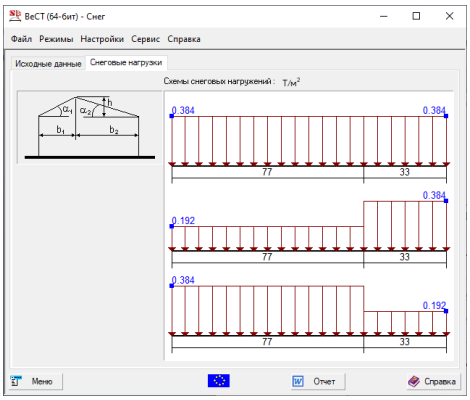


Рис. 3.4.10-2. *Страница* **Снеговые нагрузки**

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить** или указания на закладку **Снеговые нагрузки**. В результате расчета вычисляется один или несколько вариантов распределения снеговой нагрузки в соответствии с п. 5.3 EN 1991-1-3.

Соответствующие графики представляются на странице **Снеговые нагрузки** (см. рис. 3.4.10-2). Графики можно сканировать (динамическая оцифровка).

3.4.11 Температура

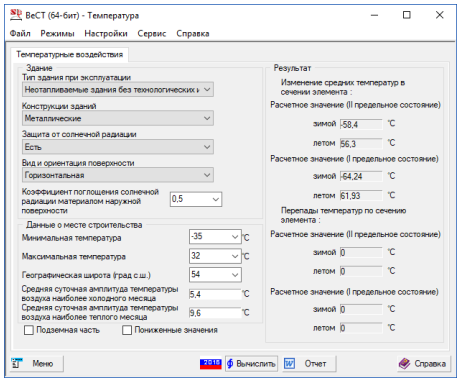


Рис. 3.4.11-1. *Окно* **Температурные воздействия**

В режиме **Температура** (рис. 3.4.11-1) вычисляются значения температурных климатических воздействий в соответствии с указаниями раздела 8 СНиП, КМК, раздела 11 ДБН и раздела 13 СП 20.13330.

Определяются изменение во времени средней температуры элемента Δt по сравнению с температурой замыкания конструкции и перепад температуры по сечению элемента.

Все сведения о типе и конструкциях здания выбираются из выпадающих списков и соответствуют формулировкам табл. 15 СНиП, КМК, табл. 11.1 ДБН или таблицы 13.1 СП 20.13330. Данные о месте строительства могут быть получены из режима **Местность** или заданы в окне режима.

Принято, что значения температуры внутреннего воздуха помещения составляют в теплое время года 22 °С, и в холодное время года составляют 16 °С.

Коэффициент надежности по нагрузке принят по умолчанию равным 1,1.

Маркер **Пониженные значения** позволяет вычислить величины пониженных температурных воздействий.

При расчетах по СП 20.13330.2016 маркер **Экстремальное воздействие** позволяет получить результат в соответствии с требованиями СП 296.1325800. При этом следует ввести коэффициенты надежности по экстремальной нагрузке $\gamma_{a,min}$, $\gamma_{a,max}$ для минимальной и максимальной температур. Поскольку при этом речь идет об особых воздействиях, результаты для второго предельного состояния отсутствуют.

3.4.12 Температура (EN 1991-1-5)

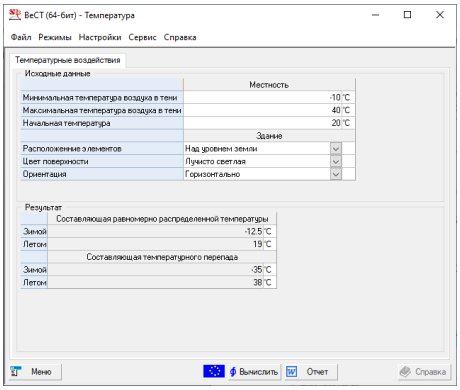


Рис. 3.4.12-1. *Окно* **Температурные воздействия**

В режиме **Температура** (рис. 3.4.12-1) вычисляются значения температурных климатических воздействий в соответствии с указаниями раздела EN 1991-1-5. Определяются составляющие равномерно-распределенной температуры (зимой и летом), а также составляющие температурного перепада (зимой и летом).

Из выпадающих списков выбираются расположение поверхности, цвет поверхности и ориентация поверхности. Кроме того, требуется ввод информации о минимальной и максимальной температурах воздуха в тени, а также начальной температуры.

3.4.13 Гололедная нагрузка на провода и тросы

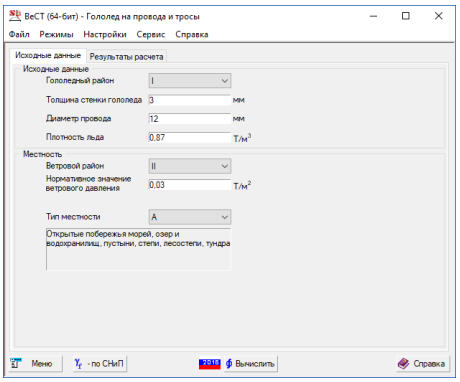


Рис. 3.4.13-1. *Страница* **Исходные данные** режима **Гололед (по СНиП, СП)**

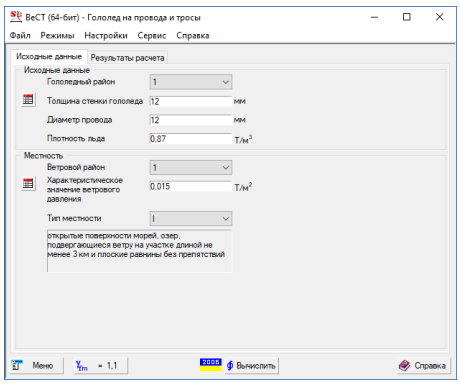


Рис. 3.4.13-2. *Страница* **Исходные данные** режима **Гололед (по ДБН)**

Режим предназначен для определения гололедной нагрузки на провода и тросы и реализует требования раздела 7 СНиП, КМК, раздела 10 ДБН и раздела 12 СП 20.13330 в части, касающейся вычислений линейной гололедной нагрузки. Нормативное (по СНиП и СП), характеристическое (по ДБН) значение гололедной нагрузки вычисляется на единицу длины провода (троса).

Расчетное (по СНиП, КМК и СП), предельное расчетное (по ДБН) значение гололедной нагрузки получается путем умножения нормативного или характеристического значения на коэффициент надежности по нагрузке.

При расчетах по СНиП, КМК и по СП коэффициент надежности по нагрузке по умолчанию принят равным 1,3 в соответствии с п. 7.3 СНиП и п. 12.5 по СП 20.13330.2011, 1,8 по СП 20.13330.2016.

Коэффициент надежности по предельному значению гололедной нагрузки при расчетах по ДБН определяется по указаниям п. 10.10.

Пользователь имеет возможность изменить значение коэффициента надежности в режиме корректировки параметров (кнопка γ_f).

Помимо гололедной, вычисляется также и ветровая нагрузка при гололеде.

При расчетах по СНиП, КМК она вычисляется в соответствии с требованиями п. 7.4 СНиП, КМК.

При расчетах по СНиП, КМК исходные данные о ветровом районе по карте 3 и о гололедном районе по карте 4 обязательного приложения 5 к СНиП, КМК могут быть заданы непосредственно на странице **Исходные данные** (рис. 3.4.13-1) либо перенесены из режима **Местность** средствами, общими для программы **ВеСТ**.

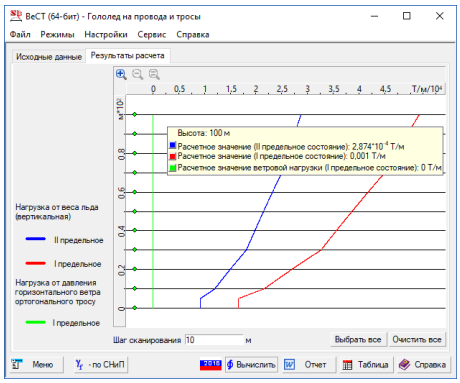


Рис. 3.4.13-3. *Страница* **Результаты расчета** режима **Гололед (по СНиП и по СП)**

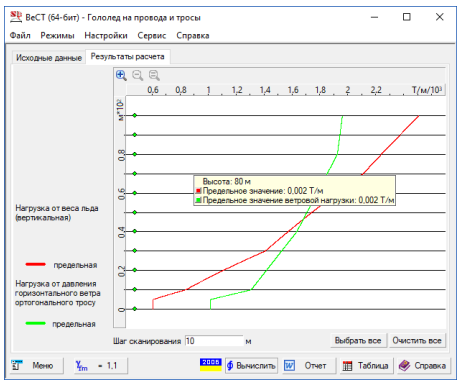


Рис. 3.4.13-4. *Страница* **Результаты расчета** режима **Гололед (по ДБН)**

При расчетах по СП исходные данные о ветровом районе по карте 3 СП 20.13330.2011, карте 2 СП 20.13330.2016 и о гололедном районе по карте 4 СП 20.13330.2011 и карте 3 СП 20.13330.2016 рекомендуемого приложения Ж к СП 20.13330.2011 и приложения Е СП 20.13330.2016 могут быть заданы таким же образом, как и при расчетах по СНиП.

При расчетах по ДБН ветровая нагрузка вычисляется в соответствии с требованиями п. 10.9. Исходные данные о ветровом районе при гололеде принимаются по карте (рис. 10.2 ДБН) и о гололедном районе по карте (рис. 10.4 ДБН), могут быть заданы непосредственно на странице **Исходные данные** (рис. 3.4.13-2) либо перенесены из режима **Местность** средствами, общими для программы **ВеСТ**. Если в качестве норм проектирования выбран ДБН, кнопка обеспечивает доступ к списку городов Украины, в котором (на основании Приложения Е ДБН) содержатся уточненные данные о характеристическом значении нагрузки. Если выбрать нужный город и нажать кнопку **ОК**, характеристическое значение нагрузки будет автоматически перенесено в исходные данные. Кроме того, эти нагрузки могут быть уточнены в пределах нагрузок района в соответствии с указаниями Приложения Е ДБН.

На странице **Исходные данные** пользователь имеет возможность задать значения толщины стенки гололеда и ветровой нагрузки отличными от тех, которые приняты при районировании по нормам проектирования.

При расчетах по СП 20.13330.2016 маркер **Экстремальное воздействие** позволяет получить результат в соответствии с требованиями СП 296.1325800. При этом следует ввести коэффициент надежности по экстремальной нагрузке γ_a. Поскольку при этом речь идет об особых воздействиях, результаты для второго предельного состояния отсутствуют.

В *результате расчета* по СНиП, КМК и по СП (рис. 3.4.13-3) определяются нормативные и расчетные значения гололедной нагрузки, а также ветровой нагрузки на покрытые гололедом провода (тросы).

В *результате расчета* по ДБН (рис. 3.4.13-4) определяются предельные расчетные значения гололедной нагрузки, а также предельные расчетные ветровой нагрузки на покрытые гололедом провода (тросы).

Ветровая нагрузка при гололеде определена в предположении, что провод (трос) расположен в плоскости, перпендикулярной ветровому потоку. При определении ветровой нагрузки учтено, что диаметр провода (троса) увеличен за счет покрытия его льдом.

Результаты расчета представлены в графической форме на соответствующей странице. Имеется возможность получения числовых результатов путем сканирования графиков.

Ограничения реализации

Гололедная нагрузка вычисляется для проводов (тросов), расположенных не выше ста метров от поверхности земли.

3.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе ВеСТ

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов			
	при расчетах по СНиП 2.01.07-85б , КМК 2.01.07-96 и СНиП 2.01.07-85*	при расчетах по ДБН В.1.2-2:2006	при расчетах по СП 20.13330.2011	при расчетах по СП 20.13330.2016
Плотности	пп. 2.1, 2.2	пп. 5.2, 5.3	пп. 7.1, 7.2	пп. 7.1, 7.2
Местность	приложение 5, СНиП 2.01.01-82	пп. 8.5, 9.6, 10.7, 10.9, приложение Ж	приложение Ж	приложение Е
Коэффициенты надежности по нагрузке	пп. 2.2, 3.4, 5.7, 6.11, 7.3, 8.7	пп. 5.2, 5.3, 6.8, 6.9, 8.11, 8.12, 9.14, 9.15, 10.10, 10.11, 11.8	пп. 7.2, 8.1.4, 8.4.5, 10.12, 11.1.12, 12.5, 13.8	пп. 7.2, 8.1.4, 8.4.5, 10.12, 12.5, 13.8
Коэффициенты надежности по назначению			п.5.2 ГОСТ 27751	
Собственный вес	п. 2.1, приложение 5 СНиП 2.03.13-88	пп. 5.2, 5.3, приложение 5 СНиП 2.03.13-88, ДБН В.2.6-14-97	п. 7.1, приложение 5 СНиП 2.03.13-88	
Предельные прогибы	пп. 10.7, 10.11, 10.12	пп. 5.1, 6.1, 7.1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006	раздел 15, приложение Е	раздел 15, приложение Д
Нагрузки от транспортных средств			п. 8.4.1	п. 8.4.1
Временные нагрузки	пп. 3.5–3.9	пп. 6.5–6.9	раздел 8.2	раздел 8.2
Ветер	пп. 6.1, 6.3–6.6, приложение 4 (схемы 1, 2, 3, 9, 11, 12*б*, 14, 18)	пп. 9.2–9.10, приложение И (схемы 1, 2, 3, 9, 11, 12*б*, 14, 18)	пп. 11.1.1, 11.1.3 – 11.1.7, приложение Д (разделы Д.1.1 – Д.1.3, Д.1.9 – Д.1.12)	приложение В (разделы В11-В13, В.1.9 – В.1.12)
Ветер. Пульсации	пп. 6.1–6.5, 6.7–6.10		пп. 11.1.8 – 11.1.10	пп. 11.1.8 – 11.1.10
Полный ветер		пп. 9.4–9.13		
Снег. Однопролетные здания	пп. 5.1–5.7, приложение 3 (схемы 1, 2, 3, 10)	пп. 8.10–8.12, приложение Е (схемы 1, 2, 3, 10)	раздел 10, приложение Г (схемы Г1, Г2, Г3, Г10)	раздел 10, приложение Б (схемы Б1, Б2, Б3, Б13) п. 6.5 СП 296.1325800
Снег. Двухпролетные здания	пп. 5.1–5.7, приложение 3 (схемы 1, 4, 5, 6, 7, 8*а*)	пп. 8.10–8.12, приложение Е (схемы 4, 5, 6, 7, 8*а*)	раздел 10, приложение Г (схемы Г1, Г4, Г5, Г6, Г7, Г8*а*)	раздел 10, приложение Б (Б1, Б4, Б5, Б6, Б7, Б8а) п. 6.5 СП 296.1325800
Температура	пп. 8.1–8.7, ГОСТ 12.1.005-88, пп. 8.1–8.7, СНиП 2.01.01-82	пп. 11.1-11.8	раздел 13, ГОСТ 12.1.005-88	раздел 13, ГОСТ 12.1.005-88 п. 6.8 СП 296.1325800
Гололед на	пп. 7.2–7.4	пп. 10.2-10.5, 10.7-10.13	пп. 12.2 – 12.3	пп. 12.2 – 12.3

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов			
	при расчетах по СНиП 2.01.07-85б , КМК 2.01.07-96 и СНиП 2.01.07-85*	при расчетах по ДБН В.1.2-2:2006	при расчетах по СП 20.13330.2011	при расчетах по СП 20.13330.2016
провода и тросы				п. 6.7 СП 296.1325800

4. Программа Кристалл

Программа **Кристалл** предназначена для выполнения конструктивных расчетов и проверок элементов и соединений стальных конструкций на соответствие требованиям одного из следующих нормативных документов

- СНиП II-23-81*;
- ШНК 2.03.05-13;
- СП 53-102-2004;
- СП 16.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП II-23-81*);
- СП 16.13330.2017 (актуализированная редакция СНиП II-23-81*);
- ДБН В.2.6-163:2010;
- ДБН В.2.6-198:2014;
- СНиП РК 5.04-23-2002;
- STR 2.05.08:2005.

Предполагается, что расчетные усилия соответствуют нагрузкам, определенным по СНиП "Нагрузки и воздействия" (или ДСТУ Б В.1.2-3:2006 при работе по ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014), требованиям этого же документа соответствуют реализованные программой правила выбора расчетных сочетаний усилий. Если в качестве норм проектирования выбран СП 16.13330, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.

При создании программы использовались связанные со СНиП, СП и ДБН государственные стандарты, а также

- Пособие по проектированию стальных конструкций к СНиП II-23-81*;
- СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования.

Отдельная ветвь программы **Кристалл** позволяет выполнить проверки элементов и соединений в соответствии с требованиями Eurocode 3. Она может быть полезна специалистам, выпускающим проектную документацию по заказам европейских фирм. *EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.1: General rules and rules for buildings* и *EN 1993-1-5. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.5: Plated structural elements* предназначены для выполнения проверок элементов стальных конструкций, в то время как *EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.8: Design of joints* используется для проверок узлов и соединений стальных конструкций. Описанию этой ветки программы посвящена отдельная глава книги (см. раздел 5).

В программе **Кристалл**, как правило, реализуются проверочные расчеты конструкций и соединений, размеры которых заранее выбраны проектировщиком, т.е. программа работает в режиме экспертизы. Для некоторых случаев реализован и режим подбора поперечных сечений, который выполняется по условию выполнения требований первого предельного состояния. Проверка выбранного сечения по второму предельному состоянию должна выполняться пользователем в режиме экспертизы этого сечения.

В программе предусмотрена возможность получения справочных данных относительно сортаментов металлопроката и болтов, а также рекомендаций норм. Для этого в состав программы включены специальные справочные режимы (см. ниже). В некоторых случаях диалоговое окно имеет кнопку , нажав на которую можно получить дополнительную информацию справочного характера.

Поскольку в строительных нормах приводятся рекомендации не для всех возможных проектных решений, то в некоторых случаях программа не может выполнить необходимую проверку. В большинстве таких случаев система управления не допускает создания подобного запроса. На экране появляется соответствующее предупреждение, а в отчетном документе — сообщение о возникшей ситуации.

По построению, заложенным предпосылкам, выполняемым проверкам, конструктивным ограничениям и рекомендациям СНиП, СП и ДБН являются весьма близкими документами. Поскольку в программе **Кристалл** набор решаемых задач одинаков для всех этих документов, то везде в тексте общие смысловые ссылки на СНиП II-23-81*следует понимать расширительно, как такие же смысловые ссылки и на ШНК

2.03.05-13, СП 53-102-2004, СП 16.13330.2011, СП 16.13330.2017, ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014.

4.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно (рис. 4.1-1), содержащее набор кнопок для выбора режима работы. Эти режимы условно можно разделить на следующие группы:

- справочные;
- вспомогательные, связанные с проектированием стальных конструкций;
- реализующие проверку сечений несущих конструкций и соединений на выполнение требований норм;
- выполняющие расчет и проектирование простых элементов конструкций.

Детальное описание каждого режима приводится ниже. Здесь представлена только их краткая характеристика.

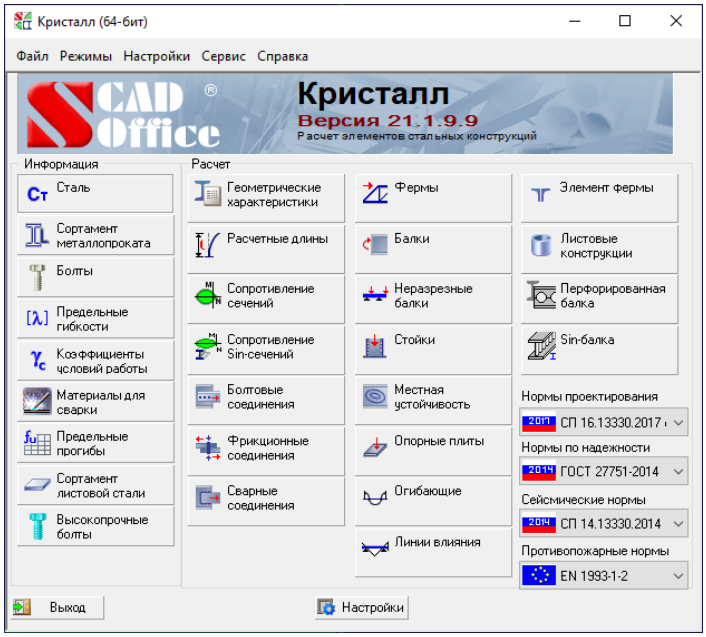


Рис. 4.1-1. *Главное окно программы* **Кристалл**

Справочные режимы включают:

- **Сталь —** реализованы рекомендации таблицы 50* СНиП II-23-81* по выбору марок стали (приложение В СП 53-102-2004 и СП 16.13330, и приложение Е ДБН В.2.6-163:2010, и приложение Г ДБН В.2.6-198:2014), при этом учитывается подход, приведенный в работе и ДБН В.2.6-163:2010. Кроме того, выдаются справки о соответствии классов стали по ГОСТ 27771 конкретным маркам стали по ГОСТам или ТУ и справочные данные о механических характеристиках;
- **Сортамент металлопроката** — дает возможность просмотра сортаментов;
- **Болты** — дает возможность просмотра сортамента болтов, а также перечня нормативных документов, используемых при проектировании болтовых соединений;
- **Предельные гибкости** — приведены рекомендации норм по предельным гибкостям растянутых и сжатых элементов;
- **Коэффициенты условий работы** — режим предназначен для просмотра и выбора значений коэффициентов условий работы (γ_c) для конструкций, элементов, болтовых соединений и соединений на высокопрочных болтах по рекомендациям СНиП, ШНК , СП или ДБН;

- **Материалы для сварки** — реализованы требования раздела 2 СНиП II-23-81*, ШНК 2.03.05-13, раздела 6 СП 53-102-2004, раздела 5 СП 16.13330, раздела 1.2 и приложения Ж ДБН В.2.6-163:2010, раздела 6.2.2 и приложения Д ДБН В.2.6-198:2014 в части выбора материалов для сварных соединений и в части выбора расчетных сопротивлений сварных соединений;
- **Предельные прогибы —** приведены таблицы СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия" (или ДСТУ Б В.1.2-3:2006 при работе по ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014) с ограничениями на прогибы элементов конструкций;
- **Сортамент листовой стали —** приведена информация о сортаментах листовой стали;
- **Высокопрочные болты —** здесь приведены размеры и характеристики высокопрочных болтов, гаек и шайб.

Вспомогательные режимы включают:

- **Огибающие**, где определяются невыгодные сочетания многих нагрузок, которые действуют на изгибаемые элементы, строятся огибающие эпюры моментов и поперечных сил;
- **Линии влияния**, где выполняется построение линий влияния в многопролетных неразрезных балках постоянного поперечного сечения;
- **Геометрические характеристики** — вычисляются геометрические характеристики поперечного сечения;
- **Расчетные длины**, где реализованы рекомендации из таблиц 11, 12, 13* и 17,*а* СНиП II-23-81* (таблиц 25, 28, 29 СП 53-102-2004, таблиц 25, 30, 31 СП 16.13330, таблиц 1.9.1, 1.9.2, 1.9.4, 1.9.8 ДБН В.2.6-163:2010, таблиц 13.1, 13.2, 13.4, 13.8 ДБН В.2.6-198:2014) и из EN 1993-1-1 Eurocode 3.

Последующие режимы являются функциональными и предназначены для проверки конструктивных решений стальных конструкций и соединений на соответствие требованиям нормативных документов по прочности, устойчивости и гибкости или же для реализации некоторой части таких проверок, имеющих самостоятельный интерес (например, исследование области несущей способности путем построения кривых взаимодействия). Они включают:

- **Сопротивление сечений**, где определяются коэффициенты использования ограничений для любого из предусмотренных программой типов поперечных сечений при действии произвольных усилий, кроме того, строятся кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий;
- **Болтовые соединения**, в котором для определенного набора конструктивных решений узлов с болтовыми соединениями на болтах с неконтролируемым натяжением находятся коэффициенты использования ограничений и строятся кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий;
- **Фрикционные соединения** — режим аналогичен предыдущему, но с другим набором конструктивных решений узлов с болтовыми соединениями на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением;
- **Сварные соединения**, где для ряда конструктивных решений узлов со сварными соединениями определяются коэффициенты использования ограничений и строятся кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий;
- **Местная устойчивость**, где реализуются проверки местной устойчивости стенок и поясных листов изгибаемых, внецентрено сжатых и сжатых элементов; при этом не рассматриваются подкрановые балки, а также балки со стенкой, подкрепленной продольными ребрами.

Наконец, для некоторых видов наиболее распространенных конструктивных элементов реализуется комплексная проверка и возможность подбора сечений. К ним относятся:

- **Фермы** — в этом режиме для конструктивных схем, наиболее часто используемых на практике, реализуются все необходимые проверки элементов ферм на прочность и устойчивость. При этом работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых вертикальных внешних нагрузок. Возможен вариант работы с подбором сечений;

- **Элемент фермы** — для отдельного стержневого элемента, являющегося элементом ферменной конструкции, реализуются все необходимые проверки на прочность и устойчивость. Возможен вариант работы с подбором сечений;
- **Балки** — режим аналогичен предыдущему, но ориентирован на рассмотрение двутавровых (сварных и прокатных) или швеллерных однопролетных балок с различными условиями опирания;
- **Неразрезные балки** — в режиме реализованы те же функции, что и для режима **Балка**, но применительно к многопролетной (до пяти пролетов) конструкции, которая может иметь консоли по концам. Возможными поперечными сечениями являются прокатные или сварные двутавры и швеллеры;
- **Стойки** — режим аналогичен предыдущему, но ориентирован на рассмотрение колонн и стоек различного поперечного сечения;
- **Опорные плиты** — рассматриваются части пластины базы колонны при различных вариантах их окаймления ребрами;
- **Листовые конструкции** — определяются коэффициенты использования ограничений по прочности и устойчивости листовых конструкций одного из трех видов — круговых цилиндрических или конических оболочек, а также цилиндрических панелей.

Обращение к любому из указанных режимов приводит к появлению многостраничного диалогового окна, с помощью которого выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

В главном окне располагается ряд кнопок, являющихся общими элементами управления для всех режимов работы. К ним относятся кнопки: **Выход**, **Настройки** и **Справка.** Кнопки **Справка** и **Выход** выполняют обычные для Windows-приложений функции — запрос справочной информации и прекращение работы, соответственно. Назначение кнопки **Настройки** описано ниже.

Выбор норм проектирования выполняется из списка, помещенного в главном окне. Кроме СНиП II-23-81*, ШНК 2.03.05-13 предусмотрена возможность выполнения расчетов по СП 53-102-2004, СП 16.13330, ДБН В.2.6-163:2010, ДБН В.2.6-198:2014 и Eurocode 3 (см. раздел 5).

Для возвращения в главное окно программы **Кристалл** во всех режимах используется кнопка **Меню**.

4.2 Настройки

Окно **Настройки приложения** вызывается нажатием одноименной кнопки главного окна программы или соответствующего пункта меню. Помимо общих параметров настройки, описанных в разделе 3, в этом окне программы **Кристалл** имеется страница — **Материал**.

Страница **Материал** (рис. 4.2-1) дает возможность задать свойства стали (значения R_y и R_u), предельные гибкости, а также значения следующих коэффициентов:

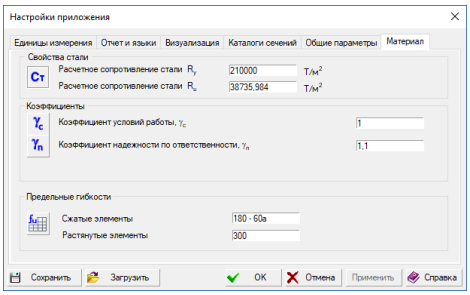


Рис. 4.2-1. *Страница* **Материал** *окна* **Настройки приложения**

- условий работы для конструкции (γ_c);
- условий работы для элементов, соединяемых болтами (γ_{ce});
- надежности по ответственности (γ_n).

При задании этой информации желательно ориентироваться на рекомендации норм, хотя отступление от них не контролируется, и пользователь имеет в этом смысле полную свободу. Если же отступления от норм не предусматриваются, то лучше эти данные задать с помощью режимов **Сталь**, **Предельные гибкости** и **Коэффициенты условий работы** (см. ниже), откуда они будут автоматически перенесены на описываемую страницу. В этом случае страница служит для справок.

Значения предельных гибкостей могут быть изменены пользователем, если он считает, что рекомендации соответствующего режима неточны или недостаточны. Введенные значения должны быть положительными целыми числами.

4.3 Конструирование поперечных сечений

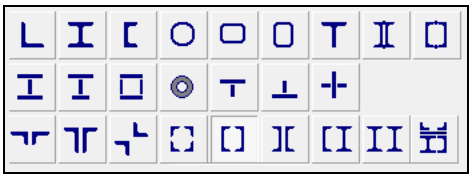


Рис. 4.3-1. Типы поперечных сечений

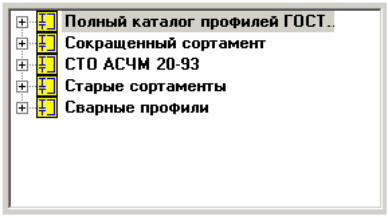


Рис. 4.3-2. Первый уровень дерева (выбор каталога)

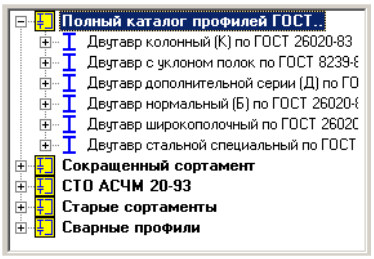


Рис. 4.3-3. Второй уровень дерева (выбор группы)

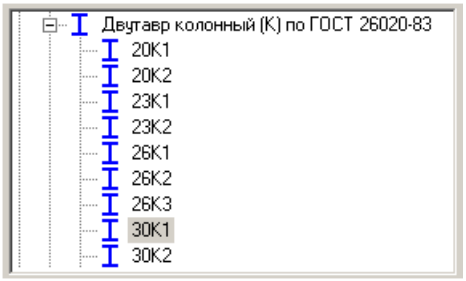


Рис. 4.3-4. Третий уровень дерева (выбор профиля)

Операции выбора поперечного сечения элементов конструкций встречаются в большинстве режимов работы программы. Во избежание повторов эти операции описываются здесь отдельно.

Программа работает с различными типами поперечных сечений элементов, схемы которых представлены на рис. 4.3-1. В их числе прокатные и гнутые профили (прямоугольные трубы рассматриваются в двух положениях — горизонтальном и вертикальном), три типа сечений, сваренных из листов, и составные сечения, набираемых из прокатных профилей. Кроме того, в режиме **Сопротивление сечений** предусмотрена возможность проверки (по прочности) произвольных сечений, сформированных в программах **Конструктор сечений**, **Консул** и **ТОНУС**. Отметим, что в тех случаях, когда созданное программой **Конструктор сечений** или **ТОНУС** сечение удается распознать как стандартное для **Кристалла** (сварной двутавр, сварная коробка или спаренные уголки), программа выдает соответствующее предупреждение и оперирует с этим сечением как со стандартным.

Если сечение представляет собой прокатный или гнутый профиль или же содержит его в своем составе, то реализуется доступ к древовидной структуре базы профилей (рис. 4.3-2). На первом уровне дерева назначается каталог прокатных профилей, из которого будет выбираться требуемое сечение. Используются только те каталоги, которые включены в список **Использовать**.

Второй уровень (рис. 4.3-3) позволяет указать группу однотипных профилей проката (например, двутавровые профили, швеллера, уголки и т.п.). При этом список доступных групп профилей определяется выбранным типом поперечного сечения. Например, если выбрать первый тип сечения, то окажутся доступными только **Равнополочные уголки** и **Неравнополочные уголки**, а при выборе последнего типа сечения откроется доступ к группам профилей **Двутавры с параллельными гранями полок** или **Двутавры с уклоном внутренних граней полок**.

Третий уровень (рис. 4.3-4) дает возможность выбрать конкретный профиль, который будет использоваться в поперечном сечении элемента.

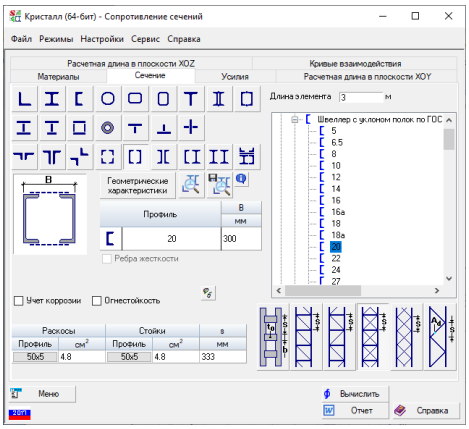
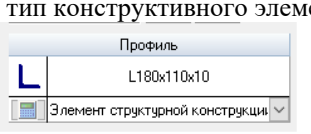


Рис. 4.3-5. Задание решетки

Для комбинированных сечений, которые имеют в своем составе решетки, соединяющие между собой ветви сечения, предусмотрены кнопки выбора типа соединительной решетки. После выбора типа решетки появляется таблица (рис. 4.3-5), включающая кнопки выбора сечений элементов решетки и поля ввода для задания параметров решетки.

Ограничения, накладываемые на параметры решеток, приведены в таблицах 4.3-1 и 4.3-2.

Если выбранным сечением является одиночный уголок, то дополнительно предоставляется возможность в выпадающем списке указать тип конструктивного элемента:

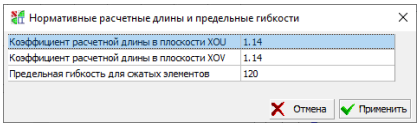


Предусмотрен выбор следующих типов:

- Элемент общего вида
- Пояс пространственной решетчатой конструкции с совмещенными в смежных гранях узлами
- Пояс пространственной решетчатой конструкции с несовмещенными в смежных гранях узлами
- Элемент решетки пространственной решетчатой конструкции
- Элемент структурной конструкции

Программа автоматически на основании выбранного типа будет производить анализ устойчивости в главных или конструктивных осях в соответствии с требованием выбранных норм проектирования.

Кроме того, нажатие кнопки активирует диалоговое окно, в котором указаны регламентируемые нормами значения расчетных длин и предельных гибкостей. При нажатии кнопки **Применить** эта информация переносится в параметры расчета.



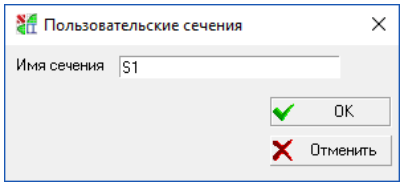


Рис. 4.3-6. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения** (задание имен сечений)

Заданные в программе составные (сварные) сечения можно сохранить в пользовательской базе данных. Вызов режима записи сечения в базу выполняется нажатием кнопки **Сохранить сечение в базе данных пользователя** — .

Нажатие этой кнопки вызывает диалоговое окно **Пользовательские сечения**, в котором задается имя сохраняемого сечения (рис. 4.3-6). Поскольку программа не контролирует уникальность применяемых имен, то за этим должен следить сам пользователь.

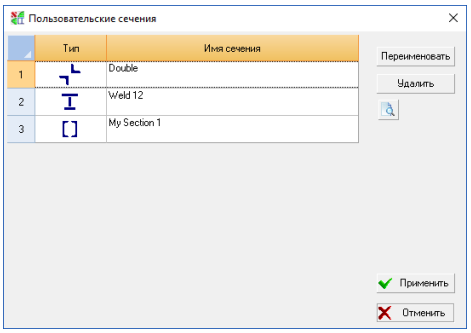


Рис. 4.3-7. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения**

Доступ к сечениям из пользовательской базы активизируется нажатием кнопки **Загрузить сечение из базы данных пользователя** — . Список сечений выводится в диалоговом окне **Пользовательские сечения** (рис. 4.3-7).

Если обнаружится, что в базе имеются повторяющиеся имена, то для переименования профиля следует воспользоваться кнопкой **Переименовать.**

Любое сечение из указанных в окне **Пользовательские сечения** может быть выбрано для работы. Для этого следует отметить в таблице строку с именем нужного сечения и выйти из окна нажатием кнопки **Применить**.

Отметим, что программа не позволяет выбрать ранее сохраненное сечение, если данный тип сечения *неприменим* в том или ином режиме. Например, сохранив в базе сечение из двух двутавров, Вы не сможете его загрузить в режиме **Балка**.

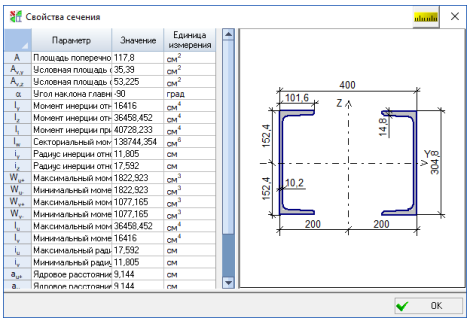


Рис. 4.3-8. *Окно* **Свойства сечения**

Характеристики выбранного сечения можно просмотреть в окне **Свойства сечения** (рис. 4.3-8), которое появляется после нажатия кнопки **Предварительный просмотр**. Сечение изображается в масштабе с указанием главных осей инерции и основных размеров.

Геометрические характеристики вычисляются программой с определенной точностью. Поэтому по некоторым из них возможны несущественные расхождения со справочными данными, представленными в каталогах.

Если используемое сечение содержит в своем составе прокатные профили, то каталог, из которого заимствованы сведения о таком профиле, должен быть включен в список **Использовать**.

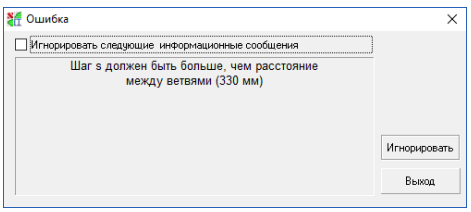


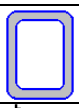
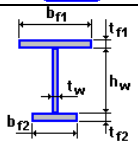
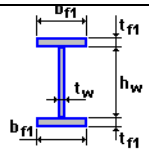
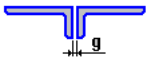
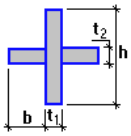
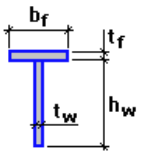
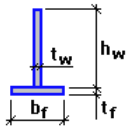
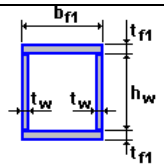
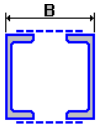
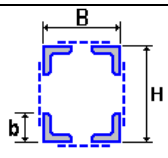
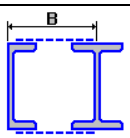
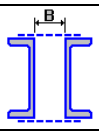
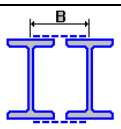
Рис. 4.3-9. *Сообщение* **Ошибка**

В программе выполняется автоматический контроль конструктивного решения сечения. Список ограничений приведен ниже в таблицах 4.3-1 и 4.3-2. При нарушении этих ограничений на экране появляется сообщение с пояснением смысла допущенной ошибки (пример показан на рис. 4.3-9). Кроме того, в соответствующих окнах находится кнопка , нажатие которой позволяет оперативно просмотреть используемые ограничения размеров.

В некоторых случаях программа дает возможность игнорировать предупреждение о нарушении ограничений (кнопка Игнорировать), но при этом все негативные последствия такого решения не будут анализироваться.

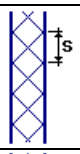
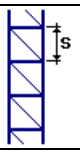
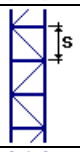
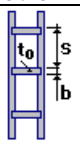
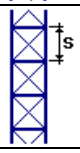
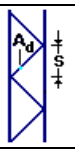
В тех случаях, когда задается неверное числовое значение какой-либо величины (например, символы вместо цифр), текст пояснения выглядит как **Ошибочные данные**. Такой стиль контроля проходит через все режимы.

Таблица 4.3-1. Ограничения на выбор размеров сечений

Сечение	Ограничения	Сечение	Ограничения
	Только из имеющихся баз данных		Только из имеющихся баз данных
	То же		То же
	То же		То же
	$b_{f1} / t_{f1} \geq 5$; $b_{f2} / t_{f2} \geq 5$; $h_w / t_w \geq 5$		$b_{f1} / t_{f1} \geq 5$; $h_w / t_w \geq 5$
	$0{,}8t \leq g \leq 2t$		$0{,}8t \leq g \leq 2t$
	$0{,}8t \leq g \leq 2t$		$b / t_2 \geq 5$; $h / t_1 \geq 5$
	$b_f / t_f \geq 5$; $h_w / t_w \geq 5$		$b_f / t_f \geq 5$; $h_w / t_w \geq 5$
	$b_{f1} / t_{f1} \geq 5$; $h_w / t_w \geq 5$; $5 \geq b_{f1} / h_w \geq 0{,}2$		$B/b_{fc} \geq 3$
	$B/b \geq 4$; $H/b \geq 4$; $2.0 \geq B/H \geq 0{,}5$		$B/b_{fd} \geq 3$ Швеллер и двутавр только из одного каталога прокатных профилей и примерно одинаковой высоты
	$B/b_{fc} \geq 2$		$B/b_{fd} \geq 2$

Примечания:
1. Ширина полки прокатных профилей обозначена как b_{fc} для швеллеров и как b_{fd} для двутавров.
2. Толщина уголка обозначена как t.

Таблица 4.3-2. Ограничения на выбор параметров решетки

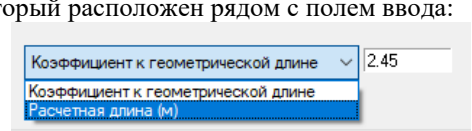
Схема	Ограничения	Схема	Ограничения
	s ≥ h; A_d < A		s ≥ h; A_v < A; A_d < A
	s ≥ h; A_d < A		s ≥ 2b
	s ≥ h; A_v < A; A_d < A		s ≥ h; A_d < A

Примечания:

h — расстояние между осями поясов;
A — площадь пояса;
A_d — площадь раскоса;
A_v — площадь стойки.

4.4 Задание расчетных длин

В некоторых режимах требуется задание данных о расчетных длинах конструктивных элементов. Во многих случаях в программе предусмотрено задание такого типа информации либо в виде коэффициента расчетной длины либо в виде расчетной длины. Переключение способа ввода данных осуществляется с помощью выпадающего списка, который расположен рядом с полем ввода:



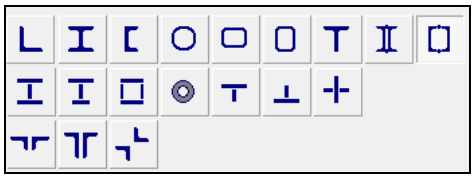
4.5 Огнестойкость

В программе **Кристалл** реализован анализ огнестойкости отдельных незащищенных элементов стальных конструкций. Проверка производится методом критической температуры по ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 (рекомендации этого стандарта аналогичны EN 1993-1-2:2005). В методе предполагается, что при нагреве от пожара температура стали равномерно распределена по конструкции и ее критическое значение определяется тем запасом прочности, который имеет рассматриваемый элемент. Указанный запас прочности характеризуется коэффициентом использования несущей способности μ_0, физический смысл которого соответствует коэффициенту K_{max} . С учетом μ_0 критическая температура вычисляется по формуле

$$\theta_{a,cr} = 30{,}19 \ln\left(\frac{1}{0{,}967\mu_0^{3{,}833}} - 1\right) + 482.$$

Программа определяет значение коэффициента использования несущей способности K_{max} от комбинаций нагрузок, которые включают только значения постоянных и длительно действующих нагрузок на момент t = 0. При расчете используются нормативные значения прочности материала (см., например, СП 296.1325800.2017).

Расчет огнестойкости реализован в режимах *Сопротивление сечений, Стойки, Балки, Неразрезные балки, Элемент фермы* для следующих типов сечений:



Учитываются лишь нормативные постоянные и длительно действующие нагрузки.

При задании исходных данных в режимах *Стойки, Балки, Неразрезные балки* для каждого загружения требуется дополнительно задать коэффициенты надежности по нагрузке и коэффициент длительной части. В режимах *Сопротивление сечений* и *Элемент фермы* можно коэффициенты надежности по нагрузке и коэффициент длительной части или нормативные длительные значения внутренних усилий.

Результатами расчета являются критическая температура, время достижения этой температуры, а также графики изменений температуры воздуха и температуры стали. Кроме того, выводится приведенная толщина (отношение площади сечения к обогреваемому периметру) и собственный предел огнестойкости без огнезащиты (время достижения температуры 500°С при стандартном пожаре, при которой начинается существенное изменение прочности и деформативности — см. таблицу 6 *Пособия по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты.* М. 2013 или Приложение Б СТО АРСС 11251254.001-018-03). Результаты представлены на отдельной странице **Огнестойкость** (рис. 4.5-1).

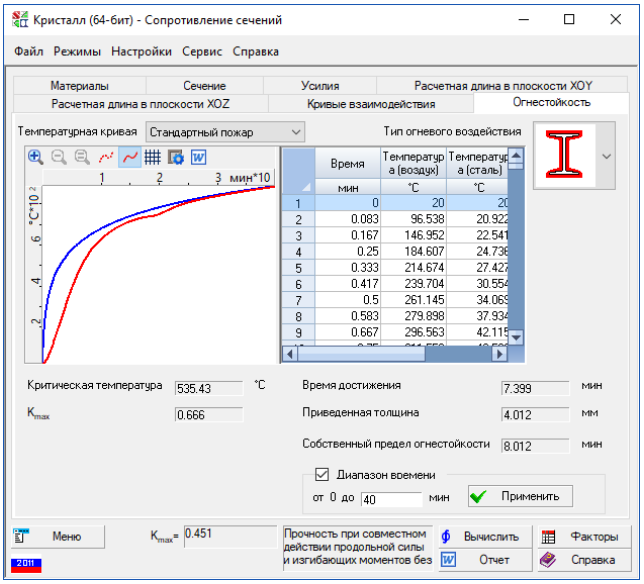


Рис. 4.5-1. *Страница* **Огнестойкость**

Расчет выполняется на один из четырех вариантов нагрева конструкции (рис. 4.5-2):

- стандартный пожар;
- углеводородный пожар;
- внешний пожар;
- тлеющий пожар.

Тип пожара выбирается из соответствующего выпадающего списка на странице **Огнестойкость**. Кроме того, предусмотрен анализ вариантов по типу огневого воздействия:

- нагрев с четырех сторон для всех поперечных сечений;
- нагрев с трех сторон для всех сечений кроме сечений из уголков и для трубчатого сечения.

Возрастание температуры стали при нагреве рассчитывается с учетом изменения теплопроводности и удельной теплоемкости стали (рис. 4.5-3).

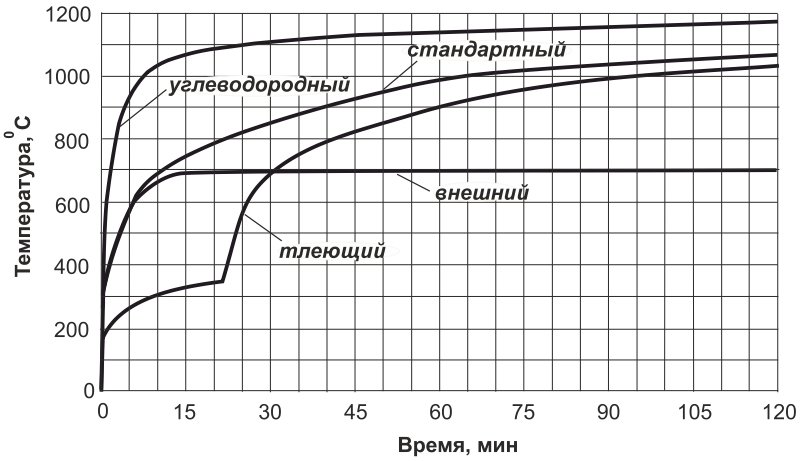


Рис. 4.5-2. *Температурные кривые*

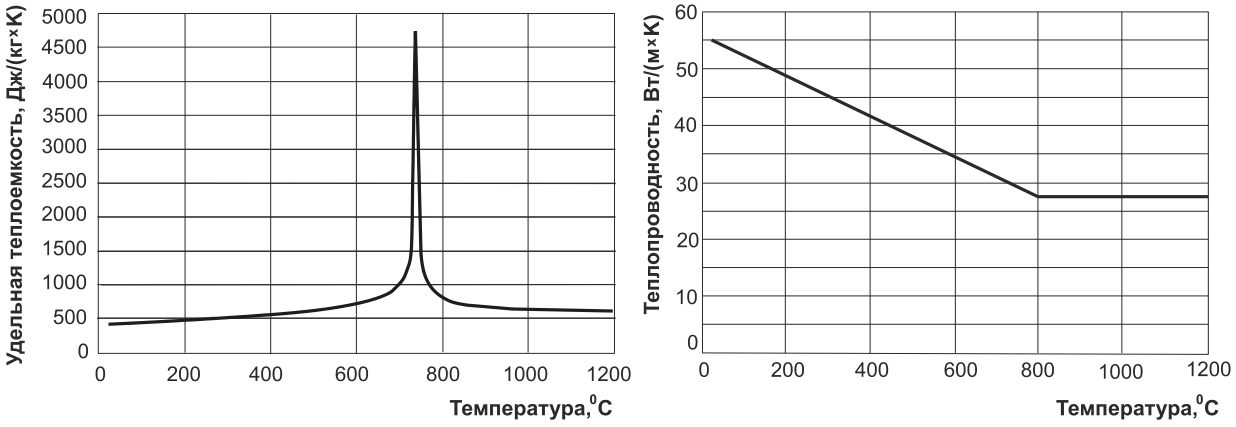


Рис. 4.5-3. *Изменение теплотехнических свойств стали*

4.6 Дополнительные настройки

Во многих режимах рядом с иконкой, указывающей на выбранные нормы проектирования, расположена кнопка , позволяющая активизировать специальное диалоговое окно для задания дополнительных ограничений, которые должны быть использованы при подборе сечений стальных элементов (рис. 4.6-1).

В частности, в этом окне можно задать ограничения на высоту сечения, ширину сечения и приведенную толщину (если заказан режим анализа огнестойкости).

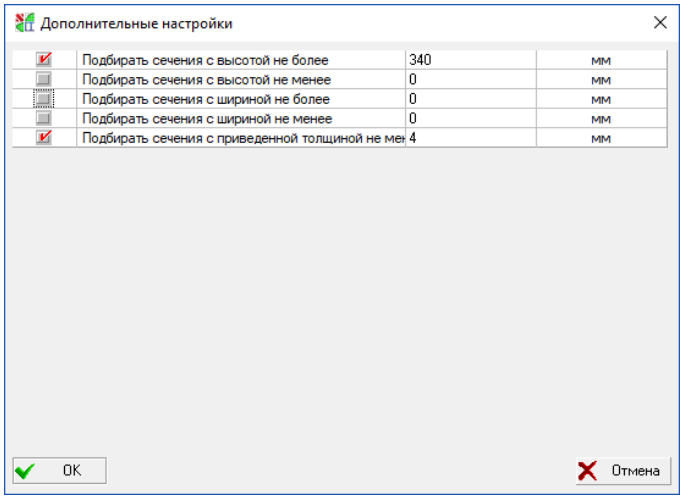


Рис. 4.6-1. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

Поскольку изменение № 1 к ДБН В.2.6-198:2014 сделало проверку гибкости необязательной, то при расчете по этим нормам появляется дополнительная опция, позволяющая отказаться от этих проверок.

При расчете на действие особых загружений по умолчанию используются нормативные, а не расчетные свойства материалов (см. п. 5.6 СП 296.1325800.2017). Поскольку данный пункт был исключен Изменением № 2 к СП 296.1325800.2017, пользователь может (используя соответствующий маркер) сам выбрать, какие свойства материалов (расчетные или нормативные) использовать.

4.7 Справочные режимы

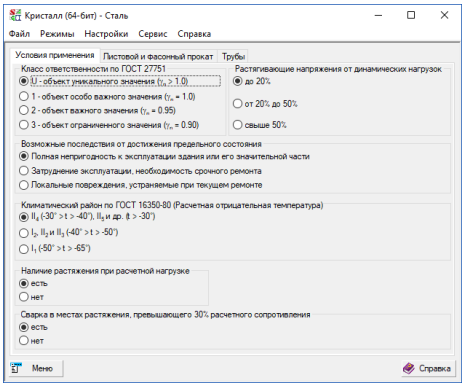
4.7.1 Сталь

В этом режиме выбирается марка стали для проектируемой конструкции. Выбор осуществляется для четырех групп конструкций в соответствии с

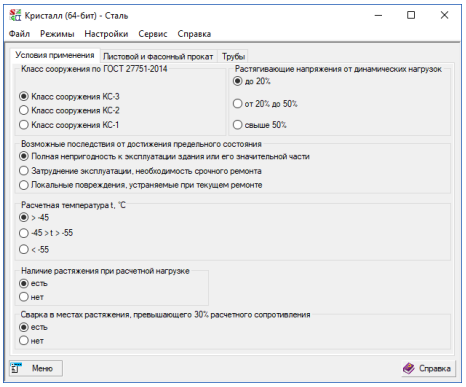
- таблицей 50* СНиП II-23-81*;
- ШНК 2.03.05-13;
- приложением В СП 53-102-2004;
- приложением В СП 16.13330;
- приложением Е ДБН В.2.6-163:2010;
- приложением Г ДБН В.2.6-198:2014.

Методика отнесения конструкции к определенной группе приведена в работе [1] и ДБН В.2.6-163:2010.

а



б



в

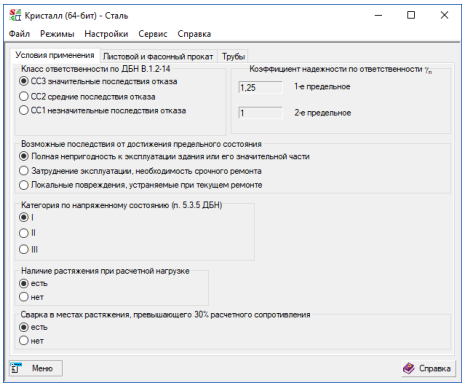


Рис. 4.7.1-1. *Страница* **Условия применения** *режима* **Стали**
а) — для СНиП II-23-81*
б) — для СП 53-102-2004 или СП 16.13330
в) — для ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014

Страница **Условия применения** (рис. 4.7.1-1, *а*, *б*) содержит шесть групп данных.

В группе **Класс ответственности по ГОСТ 27751-88** необходимо выбрать один из четырех нормируемых случаев, при этом необходимо помнить, что коэффициент безопасности по ответственности γ_n для уникальных объектов, вообще говоря, определяется индивидуально по решению органов, утверждающих проект. Реализовать это можно с помощью окна **Настройки приложения** (см. раздел 4.2). По умолчанию для таких объектов принято $\gamma_n = 1{,}2$.

В группе **Возможные последствия от достижения предельного состояния** предлагается выбор одного из трех классов ответственности рассматриваемого конструктивного элемента. В работе [1] даны рекомендации по отнесению некоторых конструкций к одному из этих классов (классы А, Б и В соответствуют трем градациям рассматриваемой группы). Эта градация является точной для ДБН, но может быть применена и в других случаях.

Ниже приводятся необходимые выдержки из этих рекомендаций.

Конструкции рабочих и технологических площадок:
- главные и второстепенные балки, ригели рам — А;
- металлический настил — Б.

Колонны производственных зданий и открытых крановых эстакад:
- стойки рабочих и технологических площадок — А;
- основные элементы поперечного сечения — А;
- основные вертикальные связи по колоннам — А;
- связи с напряжением менее $0{,}4R_y$ — В.

Конструкции покрытия:
- фермы, ригели — А;
- фонарные панели, щиты кровли, прогоны, продольные связи — Б;
- прочие связи — В.

Конструкции фахверка:
- ригели под кирпичные стены и над воротами — А;
- стойки, торцевые и ветровые фермы — Б;
- прочие элементы — В.

Вспомогательные конструкции:
- косоуры лестниц — А;
- переходные площадки, импосты, оконные и фонарные переплеты — В.

Транспортерные галереи:
- пролетные строения, связи по колоннам — А;
- прочие связи, балки покрытий, элементы фахверка — Б.

Опоры воздушных линий электропередач (ВЛ) и конструкции открытых распределительных устройств (ОРУ):
- опоры ВЛ, опоры под выключатели ОРУ — А;
- опоры под другое оборудование ОРУ — Б.

Антенные устройства:
- стволы мачт и башен — А;
- диафрагмы башен, лестницы, переходные площадки — Б.

Вытяжные башни и дымовые трубы:
- пояса и решетка башен, оболочка свободностоящей трубы — А;
- газоотводящие стволы, оболочки труб с оттяжками — Б;
- площадки, опорные кольца, ребра жесткости — В.

Градирни, водонапорные башни:
- пояса решетчатых башен, решетка — А;
- фахверк, площадки, обшивка градирен — В.

Бункеры, силосы — А.

В других группах выполняется выбор характеристик напряженного состояния (**Наличие растяжения при расчетной нагрузке** и **Растягивающие напряжения от динамических нагрузок**), а также указывается температурный режим эксплуатации (**Климатический район по ГОСТ 16350-80**). Последняя группа требует указания на наличие сварки в зоне растяжения (**Сварка в местах растяжения, превышающего 30% расчетного сопротивления**).

После заполнения всех данных первой страницы необходимо указать на закладку **Листовой и фасонный прокат** или **Трубы**, после чего откроется соответствующая страница рассматриваемого окна.

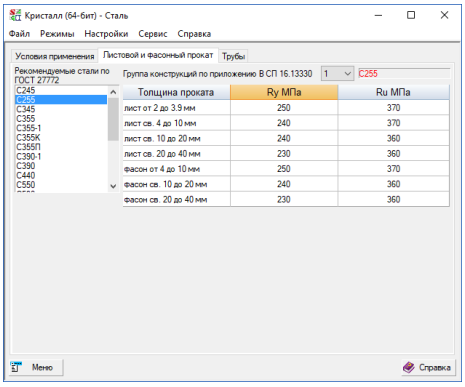


Рис. 4.7.1-2. *Страница* **Листовой и фасонный прокат** *режима* **Стали**

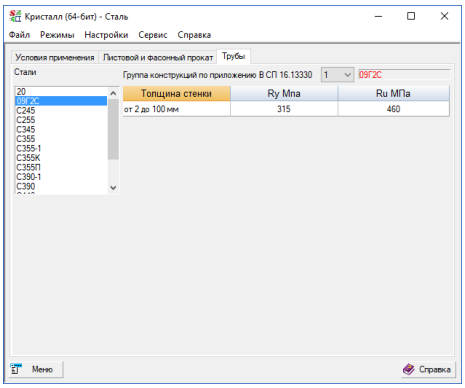


Рис. 4.7.1-3. *Страница* **Трубы** *режима* **Стали**

Страницы (рис. 4.7.1-2, 4.7.1-3) содержат ссылку на группы конструкций по

- таблице 50* СНиП II-23-81*;
- приложению В СП 53-102-2004;
- приложению В СП 16.13330;
- приложению В ДБН В.2.6-163:2010;
- приложению А ДБН В.2.6-198:2014,

которая соответствует указанным на предыдущей странице условиям эксплуатации, список рекомендуемых для этой группы сталей по ГОСТ 27772-88 и список марок сталей по другим стандартам и техническим условиям, которые могут быть использованы взамен рекомендуемой стали. Здесь же приведены справочные данные о расчетных сопротивлениях по пределу текучести (R_y) и временному сопротивлению (R_u).

При выборе сталей различают листовой и фасонный прокат (рис. 4.7.1-2) и стали для горячекатаных труб (рис. 4.7.1-3), которые выбираются по табл. 51* СНиП II-23-81* или по табл. В6 СП 53-102-2004, СП 16.13330, табл. Е.1 ДБН В.2.6-163:2010, табл. Г.1 ДБН В.2.6-198:2014.

Поскольку для полученных групп конструкций может возникнуть необходимость в использовании стали более высокого качества, чем это следует из рекомендаций СНиП и СП, то предоставляется возможность повысить (но не понизить!) группу конструкций, выбрав ее номер из соответствующего выпадающего списка. Естественно, что при этом изменится и список рекомендуемых сталей.

Кнопка **Применить** используется для передачи в активный расчетный режим (из которого вызван режим **Сталь**) выбранной марки стали. Эта марка будет использоваться при проверке несущей способности. Если нужно использовать нестандартную сталь, заданную параметрами R_y и R_u, то это можно сделать в диалоговом окне **Настройки приложения** (рис. 4.2-1).

Необходимо заметить, что программа не приводит все детали, которые обязательно отмечаются в заказе металла, такие, например, как в примечаниях к таблицам 50* и 51, *б* СНиП II-23-81* и примечаниям к тексту и таблицам приложения В СП 53-102-2004 или СП 16.13330 и приложения Е ДБН В.2.6-163:2010 или Г ДБН В.2.6-198:2014. Для составления заказа металла необходимо руководствоваться первичной нормативно-технической документацией.

4.7.2 Сортамент металлопроката

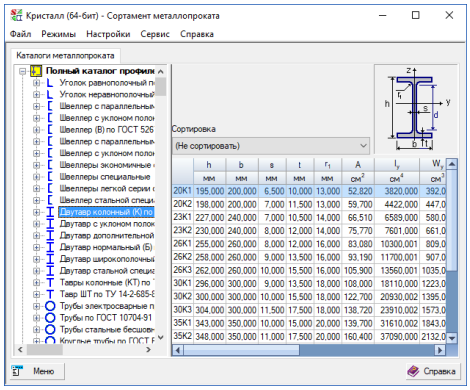


Рис. 4.7.2-1. *Окно* **Сортаменты**

Этот режим (рис. 4.7.2-1) дает возможность просмотра сортаментов металлопроката, представленных в базе данных программы **Кристалл**.

Окно включает список сортаментов, представленный в виде древовидной структуры, и таблицу с набором данных о соответствующих профилях проката. Над таблицей расположен список параметров профиля, по которым возможна сортировка таблицы.

Если выбрать конкретный профиль, то в окне будет показан его чертеж с основными размерами.

4.7.3 Болты

В этом режиме выполняется выбор болтов для проектируемой конструкции. Выбор реализуется для четырех групп конструкций в соответствии с таблицей 57* СНиП II-23-81*, приложением Г СП 53-102-2004 или СП 16.13330, приложением В ДБН В.2.6-163:2010, приложением А ДБН В.2.6-198:2014.

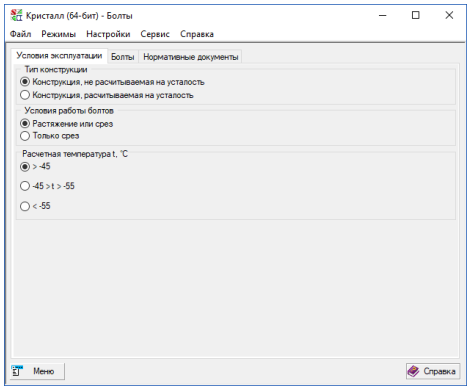


Рис. 4.7.3-1. *Страница* **Условия эксплуатации** *режима* **Болты**

Страница **Условия эксплуатации** (рис. 4.7.3-1) содержит три группы данных:

- **Тип конструкции**, где выбирается один из двух нормируемых случаев по требованиям, предъявляемым к выносливости болтового соединения.
- **Условия работы болтов** — для выбора варианта работы болта в соединении. Для всех типов соединений, предусмотренных режимом **Болтовые соединения,** рекомендуется выбирать вариант **Только срез**.
- **Климатический район по ГОСТ 16350-80**, где указывается один из предусмотренных нормами температурных режимов эксплуатации (при применении ДБН не используется).

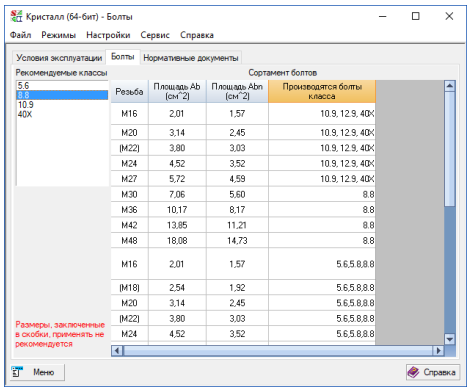


Рис. 4.7.3-2. *Страница* **Болты** *режима* **Болты**

После заполнения всех данных первой страницы необходимо нажать закладку **Болты,** после чего откроется вторая страница рассматриваемого окна (рис. 4.7.3-2), на которой приведены рекомендуемые классы болтов и их характеристики.

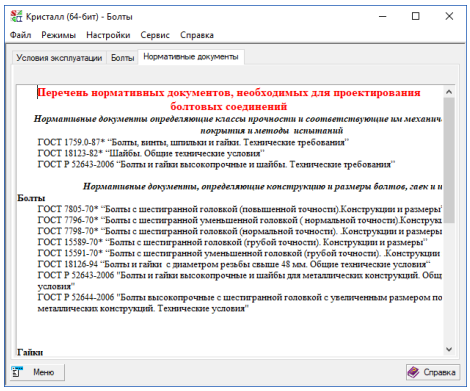


Рис. 4.7.3-3. *Страница* **Нормативные документы** *режима* **Болты**

И, наконец, третья страница режима предоставляет пользователю справочную информацию, необходимую для проектирования болтового соединения (рис. 4.7.3-3).

4.7.4 Предельные гибкости

Информационное окно этого режима (рис. 4.7.4-1) содержит сведения, представленные в табл. 19* и 20* СНиП II-23-81*, также в табл. 30 и 31 СП 53-102-2004 (табл. 32 и 33 СП 16.13330, табл. 1.9.9 и 1.9.10 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 13.9 и 13.10 ДБН В.2.6-198:2014). Выбором закладки **Сжатые элементы**, **Растянутые элементы при воздействии статических нагрузок** или **Растянутые элементы при воздействии динамических нагрузок** вызываются, соответственно, табл. 19* и 20* СНиП II-23-81* или табл. 30 и 31 СП 53-102-2004 (табл. 32, 33 СП 16.13330 или табл. 1.9.9 и 1.9.10 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 13.9 и 13.10 ДБН В.2.6-198:2014).

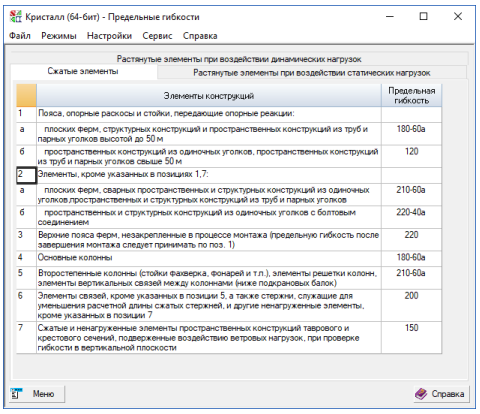


Рис. 4.7.4-1. *Информационное окно режима* **Предельные гибкости**

Если режим **Предельные гибкости** вызван из расчетного режима, то нажатием кнопки **Применить** выбранное значение предельной гибкости запоминается для использования при проверке элементов конструкций. Поскольку конструкция может проверяться на различные варианты нагружения, в том числе и со сменой знака продольной силы, то кнопкой **Применить** необходимо воспользоваться дважды — в варианте работы элемента как растянутого и в варианте сжатого элемента. Выбранные значения могут быть изменены в диалоговом окне **Настройки приложения** (рис. 4.2-1).

Ограничения реализации

Предусмотренные таблицей 20* СНиП II-23-81* и табл. 31 СП 53-102-2004 (табл. 33 СП 16.13330, табл. 1.9.10 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 13.10 ДБН В.2.6-198:2014) растянутые элементы, подверженные действию нагрузок от кранов, в программе не рассматриваются.

Не реализовано разрешение о повышении предельных гибкостей на 10%, приведенное в п. 11.4.1 СП 53-102-2004, п. 10.4.2 СП 16.13330, п. 1.9.4.2 ДБН В.2.6-163:2010, п. 13.4.2 ДБН В.2.6-198:2014.

4.7.5 Коэффициенты условий работы

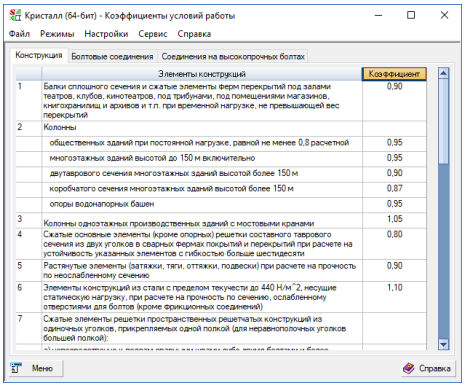


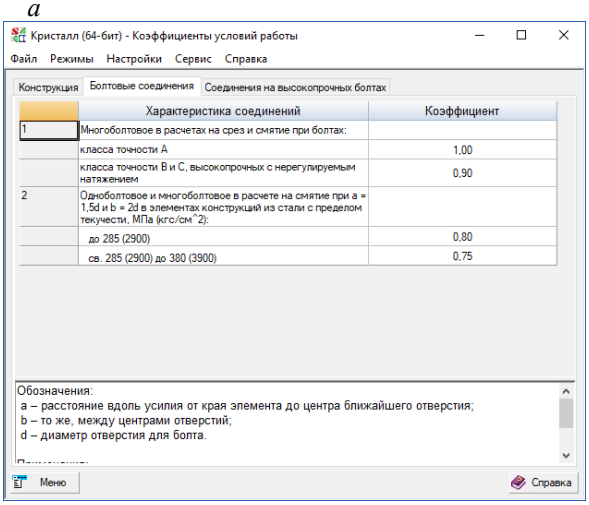
Рис. 4.7.5-1. *Информационное окно режима*

Информационное окно этого режима (рис. 4.7.5-1) содержит сведения, представленные в таблице 6* СНиП II-23-81* и табл. 1 СП 53-102-2004 (или СП 16.13330), табл. 1.1.1 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 5.1 ДБН В.2.6-198:2014. Кроме одиннадцати позиций, предусмотренных этими таблицами, добавлены еще случаи, реализующие указания примечаний к этим таблицам.

Для болтовых соединений и соединений на высокопрочных болтах предусмотрены отдельные страницы с коэффициентами условий работы, которые открываются путем выбора соответствующей закладки.

Для соединений на обычных болтах предусмотрена страница режима (рис. 4.7.5-2), реализующая требования табл. 35* СНиП II-23-81*, табл. 38 СП 53-102-2004, табл. 41 СП 16.13330, табл. 1.12.4 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 16.4 ДБН В.2.6-198:2014.

а



б

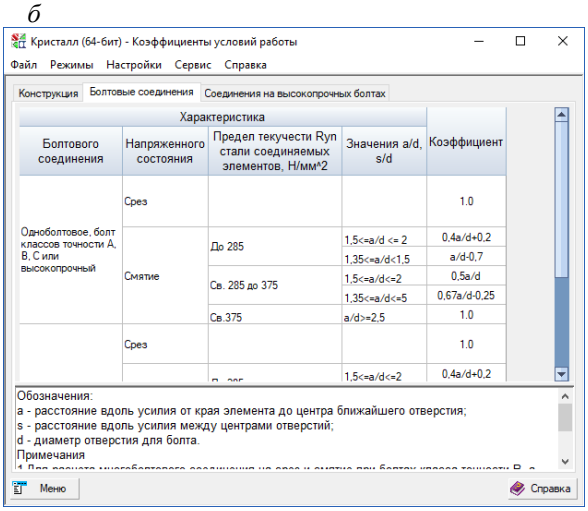


Рис. 4.7.5-2. *Информационное окно режима для болтовых соединений*
а — по СНиП II-23-81*
б — по СП 53-102-2004, СП 16.13330,
ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014.

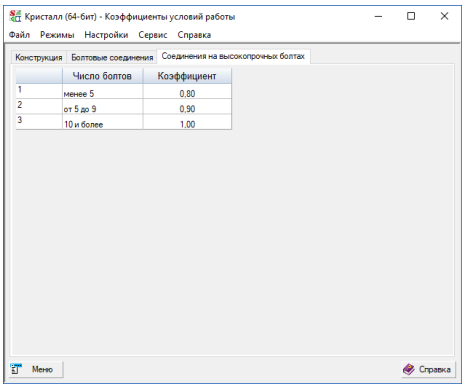


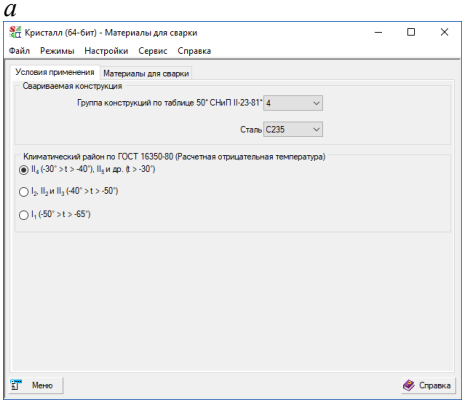
Рис. 4.7.5-3. *Информационное окно режима для соединений на высокопрочных болтах*

Для соединений на высокопрочных болтах предусмотрена страница режима (рис. 4.7.5-3), реализующая требования п. 11.3* СНиП II-23-81*, п. 15.3.4 СП 53-102-2004, п. 14.3.4 СП 16.13330, п. 1.12.3.4 ДБН В.2.6-163:2010, п. 16.3.4 ДБН В.2.6-198:2014.

Если режим **Коэффициенты условий работы** вызван из расчетного режима, то нажатием кнопки **Применить** выбранное значение коэффициента запоминается для использования при проверке элементов конструкций и может быть изменено в диалоговом окне **Настройки приложения** (рис. 4.2-1).

4.7.6 Материалы для сварки

а



б

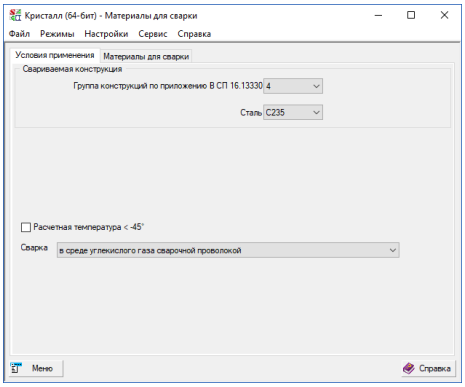


Рис. 4.7.6-1. *Страница* **Условия применения** *режима* **Материалы для сварки**
а – по СНиП II-23-81*,
б – по СП 53-102-2004, СП 16.13330

В этом режиме выбираются сварочные материалы для проектируемой конструкции. Выбор реализуется в соответствии с указаниями таблицы 55* СНиП II-23-81* и указаниями п. 6.4 и приложения Г СП 53-102-2004 (или указаниями п. 5.4 и приложения Г СП 16.13330, приложения Ж ДБН В.2.6-163:2010, приложения Д ДБН В.2.6-198:2014).

Страница **Условия применения** (рис. 4.7.6-1) содержит две группы данных.

В группе **Свариваемая конструкция** необходимо задать номер группы по табл. 50 СНиП II-23-81*, приложению В СП 53-102-2004 и СП 16.13330 или приложению Е ДБН В.2.6-163:2010 и приложению Г ДБН В.2.6-198:2014 или по результатам работы режима **Сталь**, к которой относится свариваемая конструкция, и указать сталь, из которой эта конструкция запроектирована.

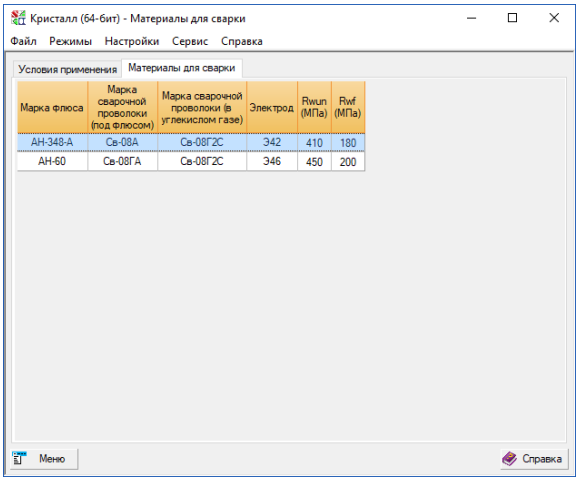
Во второй группе указывается (**Климатический район по ГОСТ 16350-80** при расчетах по СНиП, либо **Расчетная температура и технология сварки** при расчетах по СП.

После заполнения всех данных первой страницы можно активизировать закладку **Материалы для сварки**, после чего откроется вторая страница рассматриваемого окна.

Страница **Материалы для сварки** (рис. 4.7.6-2) содержит список рекомендуемых материалов.

Если режим **Материалы для сварки** вызван из расчетного режима, то нажатием кнопки **Применить** характеристики выбранных материалов запоминаются для использования при проверке элементов конструкций.

а



б

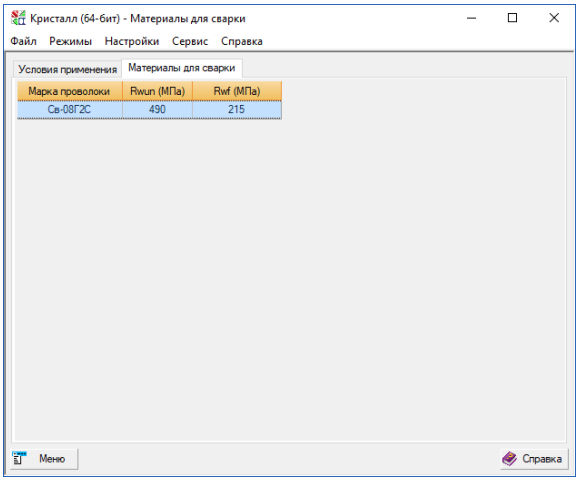


Рис. 4.7.6-2. *Страница* **Материалы для сварки**
режима **Материалы для сварки**
а – по СНиП II-23-81*, *б* – по СП 53-102-2004 или СП 16.13330

4.7.7 Предельные прогибы

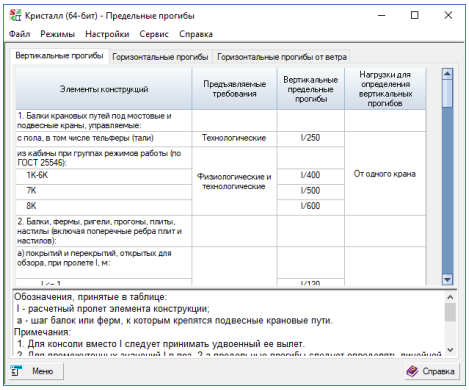


Рис. 4.7.7-1. *Диалоговое окно*
Предельные прогибы

На страницах этого окна (рис. 4.7.7-1) представлены данные из таблиц СНиП 2.01.07-85*, СП 20.13330.2011 или ДСТУ Б В.1.2-3:2006.

4.7.8 Сортамент листовой стали

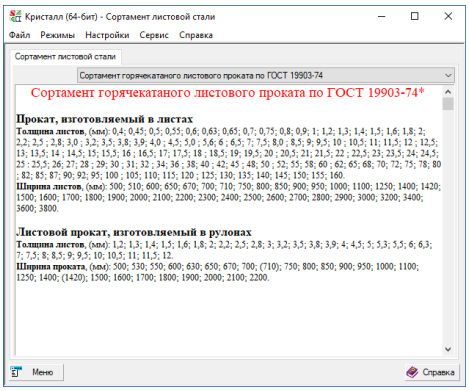


Рис. 4.7.8-1. *Диалоговое окно* **Сортамент листовой стали**

В этом окне (рис. 4.7.8-1) приведена информация о сортаменте листового проката, выпускаемого согласно ГОСТ 19903-74*, 19904-90, 82-70 и 103-76.

4.7.9 Высокопрочные болты

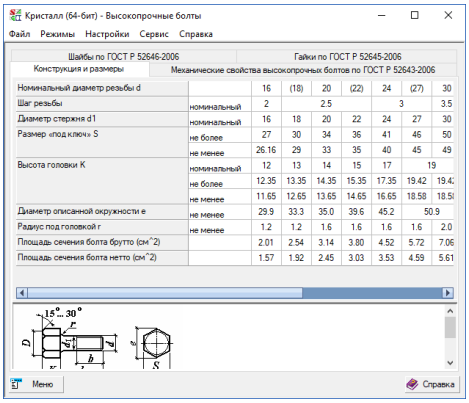


Рис. 4.7.9-1. *Диалоговое окно* **Высокопрочные болты**

Информация в окне включает данные о конструкции и размерах высокопрочных болтов, их механических свойствах, а также описание шайб и гаек, используемых совместно с высокопрочными болтами (рис. 4.7.9-1).

4.8 Вспомогательные режимы

4.8.1 Огибающие

Этот режим предназначен для решения частной задачи определения невыгодных основных сочетаний многих нагрузок, действующих на изгибаемые элементы.

Необходимо отметить, что в числе временных нагрузок неявно присутствует и полностью нулевая (она реализует возможность отсутствия всех временных нагрузок). Поэтому при подсчете максимальных значений (например, моментов) учитывается наибольшее из числа положительных моментов и нулевого значения, а при определении минимальных значений — наименьшее из отрицательных моментов и нуля.

В диалоговом окне **Огибающие** (рис. 4.8.1-1) задается пролет балки (введенное значение фиксируется нажатием кнопки **Применить**). С помощью расположенных справа вверху кнопок выбирается один из способов опирания: двустороннее защемление; шарнирное опирание с двух сторон; шарнир с одной стороны и защемление с другой или консольная схема.

В программе предусмотрена возможность расчета на несколько (до десяти) вариантов загружения, при этом каждое загружение может состоять из нескольких нагрузок.

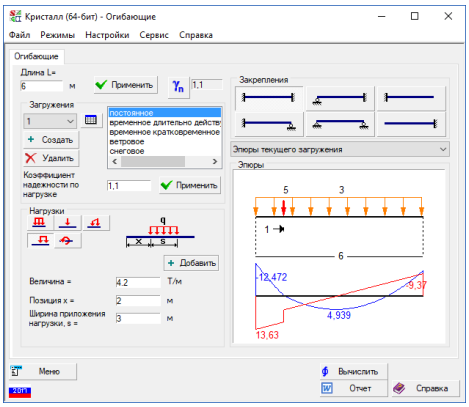


Рис. 4.8.1-1. *Диалоговое окно* **Огибающие**

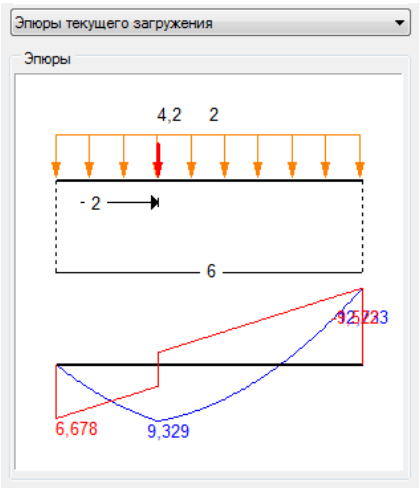


Рис. 4.8.1-2. Эпюры моментов и поперечных сил

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Нагрузки;**
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, снеговое или ветровое), что определяет коэффициенты сочетаний по СНиП 2.01.07-85*, СП или ДБН, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- изменить, если нужно, величину коэффициента надежности по нагрузке;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

Для каждого загружения можно задать несколько компонентов нагрузки. Предполагается, что задаются расчетные значения нагрузок.

В зависимости от вида нагрузки ее характеристики включают:

- для распределенных нагрузок — интенсивность нагрузки;
- для распределенной нагрузки на части пролета — интенсивность нагрузки, позицию и ширину приложения;
- для сосредоточенной силы — величину силы и ее положение в пролете;
- для сосредоточенного момента — величину момента и его положение в пролете.

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить.**

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, то достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

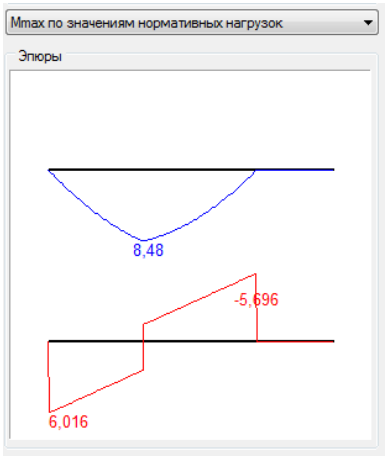


Рис. 4.8.1-3. Эпюры огибающие

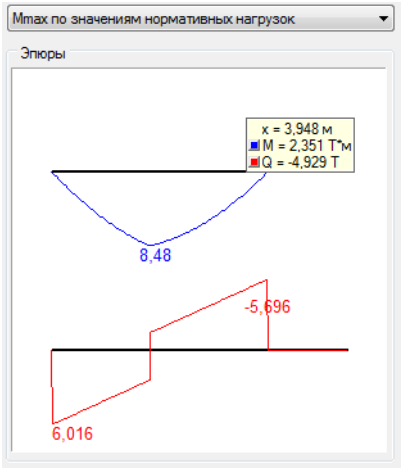


Рис. 4.8.1-4. Указание на эпюре значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении

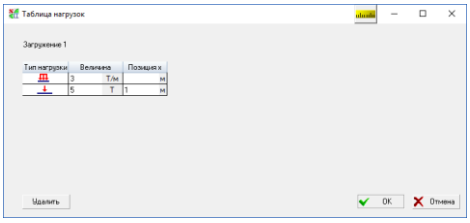


Рис. 4.8.1-5. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения, а под ним — совмещенная схема эпюры моментов и поперечных сил (рис. 4.8.1-2). После ввода всех загружений можно просмотреть, какой вид имеют значения экстремальных моментов и соответствующих им поперечных сил, а также экстремальных поперечных сил и соответствующих им моментов. Для этого следует выбрать в выпадающем списке, расположенном над полем **Эпюры**, вид интересующей информации (рис. 4.8.1-3). Огибающие эпюры максимальных и минимальных усилий показываются раздельно.

Если установить курсор в поле эпюры, то на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении, которое соответствует положению курсора (рис. 4.8.1-4).

Для корректировки (в том числе и удаления) отдельных нагрузок в рамках одного загружения можно воспользоваться таблицей нагрузок, которая выводится в одноименное диалоговое окно (рис. 4.8.1-5) по нажатию кнопки . В этой таблице можно поменять величину нагрузки или ее привязку, а также удалить одну или несколько нагрузок. В последнем случае следует отметить курсором пиктограмму с изображением удаляемой нагрузки и нажать кнопку **Удалить**.

4.8.2 Линии влияния

Режим предназначен для построения линий влияния в многопролетных неразрезных балках постоянного поперечного сечения. Рассматриваются только линии влияния изгибающих моментов и перерезывающих сил.

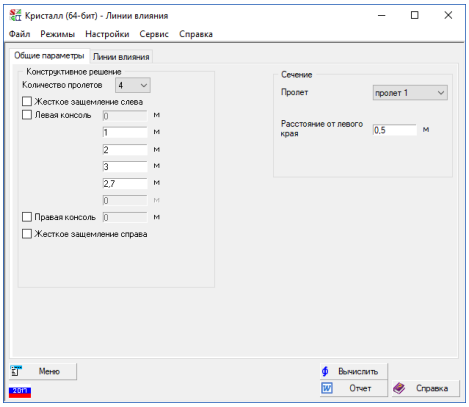


Рис. 4.8.2-1. *Страница* **Общие параметры**

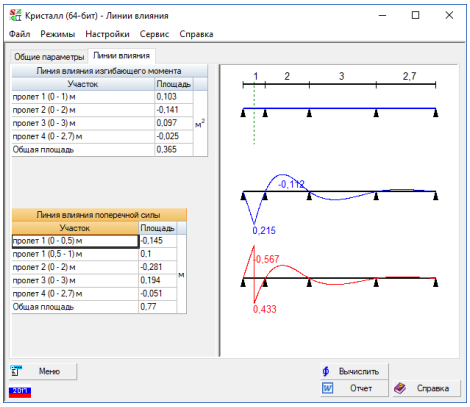


Рис. 4.8.2-2. *Страница* **Линии влияния**

На странице **Общие параметры** (рис. 4.8.2-1) в группе **Конструктивное решение** задается схема многопролетной балки, которая определяется количеством пролетов, их величинами и наличием или отсутствием консолей. Если задать жесткое защемление (справа и/или слева), то пропадает возможность задания соответствующей консоли. В группе **Сечение** выбирается пролет и указывается расстояние от его левого края до сечения, в котором следует построить линии влияния. Получить линии влияния можно, нажав кнопку **Вычислить** или открыв страницу **Линии влияния**.

На странице **Линии влияния** (см. рис. 4.8.2-2) приводятся конструктивная схема балки и две линии влияния (изгибающих моментов и перерезывающих сил). Если установить курсор в любую точку по длине балки, то на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в указанном курсором сечении.

В таблицах, расположенных слева от изображения линий влияния, содержится информация о площадях линий влияния на участках между нулевыми точками, с помощью которых можно найти значения момента и/или перерезывающей силы при действии равномерно распределенной временной нагрузки.

4.8.3 Геометрические характеристики сечений

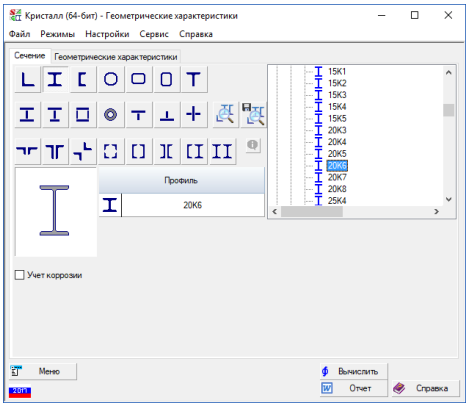


Рис. 4.8.3-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Геометрические характеристики сечений**

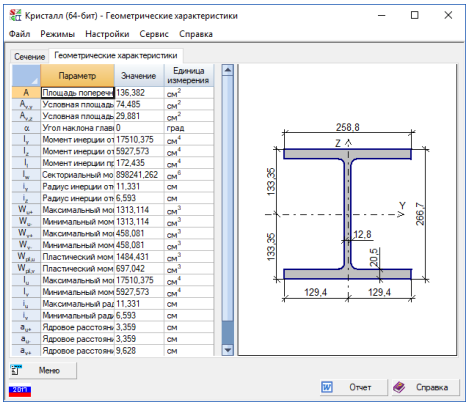


Рис. 4.8.3-2. *Страница* **Геометрические характеристики**

В этом режиме вычисляются геометрические характеристики поперечных сечений по описанным выше правилам (см. раздел 4.3). Исходные данные вводятся на странице **Сечение** (рис. 4.8.3-1). Результаты в форме, представленной на рис. 4.8.3-2, выдаются на странице **Геометрические характеристики**.

4.8.4 Расчетные длины

С помощью этого режима решается задача определения расчетной длины элементов по рекомендациям раздела 6 СНиП II-23-81* (раздела 11 СП 53-102-2004, раздела 10 СП 16.13330, раздела 1.9 ДБН В.2.6-163:2010, раздела 13.9 ДБН В.2.6-198:2014), ШНК 2.03.05-13 и EN 1993-1-1. Поскольку проблема, по сути, является задачей строительной механики, использование рекомендаций Eurocode 3 не может считаться недопустимым. Результатом работы является величина коэффициента расчетной длины или значение гибкости элемента.

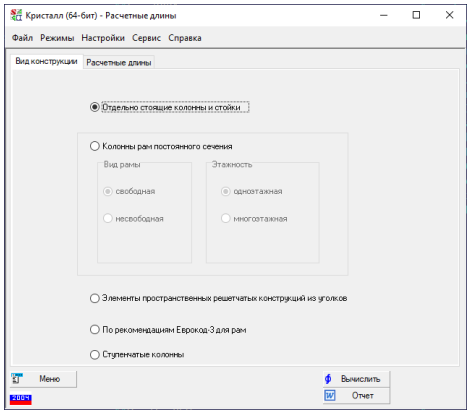


Рис. 4.8.4-1. *Страница* **Вид конструкции** *диалогового окна* **Расчетные длины**

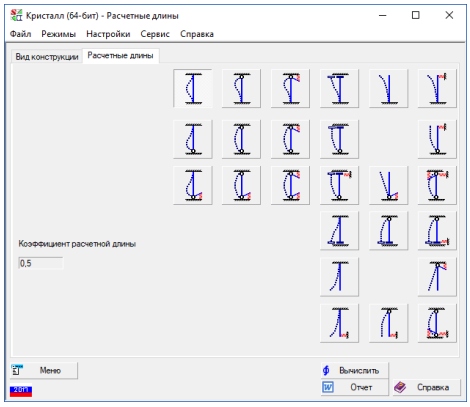


Рис. 4.8.4-2. *Страница* **Расчетные длины** для **отдельно стоящих колонн и стоек**

Основное окно (рис. 4.8.4-1) содержит две страницы. На первой из них (**Вид конструкции**) реализуется выбор конструкции, подлежащей рассмотрению. Могут быть выбраны:

- отдельно стоящие колонны и стойки;
- колонны рам постоянного сечения (по СНиП, СП, ДБН и EN 1993-1-1. Eurocode 3);
- элементы пространственных решетчатых конструкций из уголков;
- ступенчатые колонны.

Предусмотренные пп. 6.1–6.4 СНиП II-23-81* (п. 11.1 СП 53-102-2004, п. 10.1 СП 16.13330, п. 1.9.1-1.9.4 ДБН В.2.6-163:2010, п. 13.1-13.4 ДБН В.2.6-198:2014) решения для элементов ферм реализованы в режиме **Фермы** (см. далее).

После выбора вида конструкции активизируется страница **Параметры конструкции**, конфигурация которой зависит от сделанного выбора.

При выборе вида конструкции **Отдельно стоящие колонны и стойки** появляется страница с изображением 25 возможных вариантов концевых закреплений (рис. 4.8.4-2).

Для варианта закрепления с идеализированными граничными условиями (нажата соответствующая кнопка) в поле **Коэффициент расчетной длины** появляется значение в соответствии с указаниями нормативных документов. При этом рассматриваются только случаи нагружения силой на конце.

Если выбраны концевые закрепления с упругими опорами относительно смещений или поворотов, то в соответствующих полях ввода необходимо задать числовую информацию о жесткости опор. Данные о жесткости упругих линейных опор задаются в Т/м, а упругих поворотных опор - в Т*м/рад. После нажатия кнопки **Вычислить** в окне результатов будет выдан ответ, полученный по формулам Пособия по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*).

В некоторых схемах при недостаточно жестких закреплениях стойка может потерять устойчивость как жесткое целое. В таких случаях в качестве результата выдается значение, соответствующее наименьшей критической силе, реализующейся с деформацией элемента.

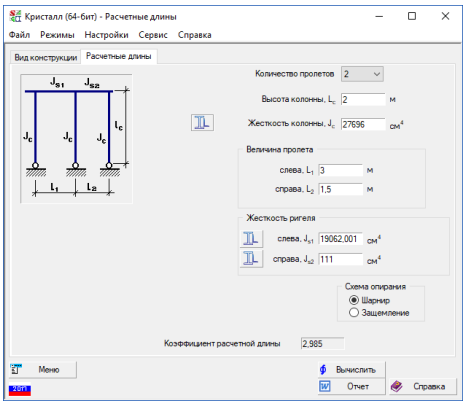


Рис. 4.8.4-3. *Страница* **Расчетные длины** для **колонн рам постоянного сечения** (одноэтажная)

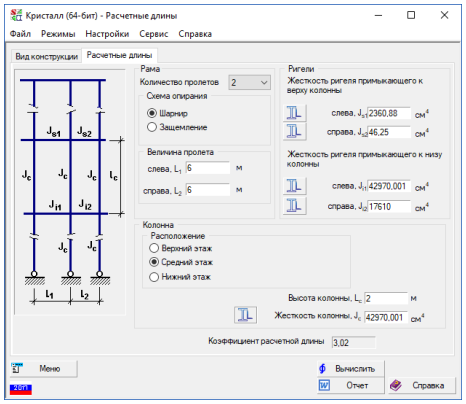


Рис. 4.8.4-4. *Страница* **Расчетные длины** для **колонн рам постоянного сечения** (многоэтажная)

При выборе вида конструкции **Колонны рам постоянного сечения** и указания на тип рамы (**свободная/несвободная** и **одноэтажная/многоэтажная**) доступной становится страница **Расчетные длины** с изображением соответствующей расчетной схемы (примеры на рис. 4.8.4-3 и рис. 4.8.4-4) и полями ввода для задания необходимой информации. Задача решается только в плоскости рамы, рассматривается только вариант жесткого соединения ригелей с колоннами.

Набор рассматриваемых задач соответствует п. 6.10* и таблице 17,*а* СНиП II-23-81* (п. 11.3.3 и табл. 29 СП 53-103-2004, п. 10.3.4 и табл. 31 СП 16.13330.2011, п. 1.9.3.4, табл. 1.9.8 ДБН В.2.6-163:2010 и табл. 13.8 ДБН В.2.6-198:2014). При этом считается, что все стойки рамы имеют одинаковую жесткость и загружены одинаковыми продольными силами. В связи с этим формула (71)* СНиП II-23-81* (формула (127) СП 53-102-2004, формула (146) СП 16.13330, формула (1.9.8) ДБН В.2.6-163:2010, формула (13.8) ДБН В.2.6-198:2014) не используется. Следует также отметить, что при рассмотрении двухэтажных рам понятие «средний этаж» не должно использоваться, а в несвободных рамах результат не зависит от числа пролетов. Поэтому соответствующее поле ввода оказывается закрытым.

Поскольку у многопролетных свободных рам расчетные длины крайней и средней колонн разнятся между собой (это не учитывается напрямую), то рекомендуется следующий прием: для средних колонн решение отыскивается как для многопролетной рамы, а для крайних колонн используется решение для однопролетной рамы. Для однопролетных рам условно используются обозначения длин и жесткостей по левой стороне от рассматриваемой стойки.

Определение расчетных длин отдельных участков ступенчатых колонн, колонн из плоскости рамы и ветвей плоских опор транспортерных галерей не выполняется.

Если элементы рамы являются прокатными сечениями, то имеется возможность назначить их жесткость выбором из сортамента, нажав кнопку . При этом появляется диалоговое окно **Выбор профиля** (рис. 4.8.4-5), в котором следует выбрать соответствующий профиль и нажать кнопку **Применить** для жесткости I_y или I_z.

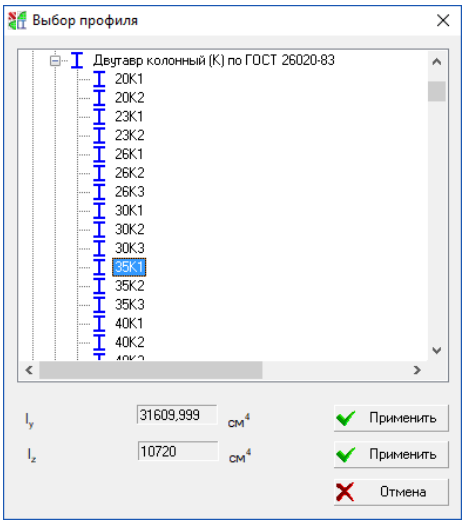


Рис. 4.8.4-5. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

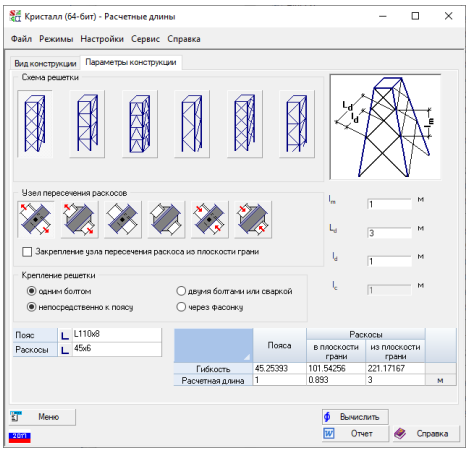


Рис. 4.8.4-6. *Страница* **Параметры конструкции** для **элементов пространственных решетчатых конструкций из уголков**

Если на странице **Вид конструкции** выбраны **Элементы пространственных решетчатых конструкций из уголков**, открывается страница (рис. 4.8.4-6) с изображением схем, предусмотренных п. 6.5 СНиП II-23-81* (п.11.2 СП 53-102-2004, п. 10.2 СП 16.13330, п. 1.9.2 ДБН В.2.6-163:2010, п. 13.2 ДБН В.2.6-198:2014). Выбор варианта конструктивного решения реализуется нажатием кнопки с изображением соответствующей схемы. Сечения элементов выбираются из сортамента кнопками: **Пояс**, **Раскосы**, **Распорка**. Для поясов и распорок допускаются только равнополочные уголки, пересекающиеся раскосы могут быть приняты из неравнополочных уголков, но при этом предполагается, что они крепятся к поясу узкой полкой.

Для некоторых вариантов конструктивного решения с помощью группы кнопок предусмотрен выбор вида узла пересечения раскосов. Одновременно выбирается и вид усилия в подкрепляющем элементе в соответствии с таблицей 14* СНиП II-23-81* (таблицы 23 СП 53-102-2004, таблицы 25 СП 16.13330, таблицы 1.9.2 ДБН В.2.6-163:2010, таблицы 13.2 ДБН В.2.6-198:2014) (рассматривается сжатый элемент, выделенный более темным цветом на пиктограмме).

Активировав соответствующий маркер в группе **Крепление решетки**, необходимо выбрать одно из предлагаемых конструктивных решений. При этом предполагается, что это конструктивное решение относится к обоим концам элемента решетки. Конструкции, у которых, например, на одном конце крепление выполнено непосредственно к поясу, а на другом конце — через фасонку, в программе не рассматриваются.

При определении расчетных длин и гибкостей пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков в программе реализованы различные случаи использования жесткостных характеристик сечения (относительно главных осей инерции сечения, а также относительно конструктивных осей, параллельных полкам уголка) в полном соотвествии с таблицей 13* СНиП II-23-81* (таблицей 22 СП 53-

102-2004, таблицей 24 СП 16.13330, таблицей 1.9.1 ДБН В.2.6-163:2010, таблицей 13.1 ДБН В.2.6-198:2014, таблицей 7 ШНК 2.03.05-13).

В окне **Параметры конструкции** после нажатия кнопки **Вычислить** выдаются гибкости сжатых элементов поясов, раскосов и диагональных элементов пространственных решетчатых конструкций, а также соответствующие им расчетные длины. Кроме того, для элементов крестовой решетки в программе вычисляются гибкости и расчетные длины как в плоскости грани пространственной решетчатой конструкции, так и из плоскости грани согласно таблицы 19* СНиП II-23-81* (табл. 30 СП 53-102-2004, табл. 32 СП 16.13330, табл. 1.9.9 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 13.9 ДБН В.2.6-198:2014, табл. К.1 приложения К ШНК 2.03.05-13).

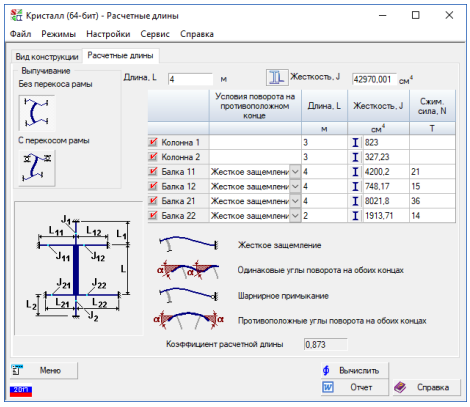


Рис. 4.8.4-7. *Страница* **Расчетные длины** *для режима* **По рекомендациям Eurocode 3 для рам**

Если выбран режим **По рекомендациям Eurocode 3 для рам**, на странице **Параметры конструкции** приводится схема с изображением рассчитываемой стойки в окружении примыкающих к ней ригелей и колонн (рис. 4.8.4-7).

Данные о длине стойки — L и ее жесткости — J задаются в одноименных полях ввода. Если стойка имеет прокатное сечение, то ее жесткость может быть введена автоматически после выбора сечения из сортамента (кнопка).

В таблицу характеристик элементов окружения вносятся данные о длинах элементов, условия их примыкания (поворота) на противоположном от стойки конце, жесткости и значения сжимающей силы. При этом, если какой-либо из элементов отсутствует (не помечен в первом столбце таблицы), то соответствующие поля ввода данных будут закрыты. При этом все расчеты выполняются в соответствии с рекомендациями приложения Е к EN 1993-1-1.

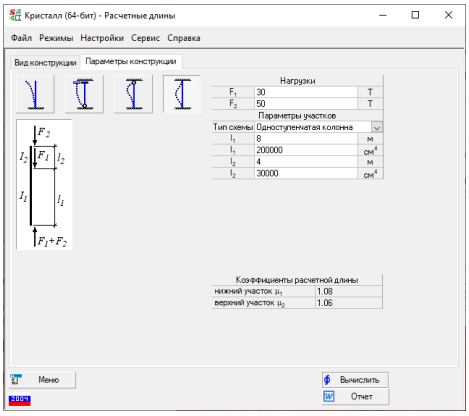


Рис. 4.8.4-8. *Страница* **Параметры конструкции** для *режима* **Ступенчатые колонны**

При выборе вида конструкции **Ступенчатые колонны** появляется страница **Параметры конструкции** с изображением 4 возможных вариантов концевых закреплений ступенчатой колонны (рис. 4.8.4-8): 1) с нижним защемленным концом и с верхним концом, свободным от закреплений; 2) с нижним защемленным концом и с верхним концом, закрепленным только от поворота; 3) с нижним защемленным концом и с неподвижным шарнирно-опертыми верхним концом; 4) с защемленными верхним и нижним концами.

В таблицах **Нагрузки** и **Параметры участков**, расположенных на этой же странице (см. рис. 4.8.4-8), пользователю предоставлена возможность ввести параметры участков ступенчатой колонны (моменты инерции сечений участков и их длины), а также значения сосредоточенных сил, приложенных к верху участков ступенчатой колонны.

После нажатия кнопки **Вычислить** на этой странице будут вычислены коэффициенты расчетной длины (и расчетные длины) участков ступенчатой колонны, определенные в соответствии с требованиями выбранных норм проектирования.

4.9 Проверки

4.9.1 Сопротивление сечений

В этом режиме реализуется функция определения несущей способности любого из предусмотренных в программе поперечных сечений. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции. Реализован весь комплекс проверок по прочности, устойчивости и гибкости в соответствии с выбранным нормативным документом со следующими исключениями:

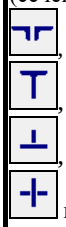
- растянутые стержни не проверяются на прочность по расчетному сопротивлению, как элементы, эксплуатация которых возможна после достижения предела текучести;
- вычисления значений приведенной гибкости сквозных стержней выполнены по более точным формулам таблицы 13 Пособия к СНиП II-23-81*;
- при определении коэффициента $\varphi_б$ в запас надежности принято, что нагрузка имеет вид равномерно распределенной и приложена к сжатому поясу, который не закреплен в пролете от потери устойчивости. Однако, используя кнопку , можно активировать специальный диалог, в котором пользователь может выбрать одно из предусмотренных нормами правило вычисления данного коэффициента (при этом ответственность за последствия такого выбора несет пользователь), или с помощью кнопки **По умолчанию** вернуться к стандартному (описанному выше) поведению программы.

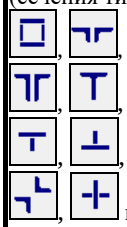
Набор проверок определяется типом поперечного сечения элемента и комплектом действующих на него нагрузок.

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность при центральном сжатии/растяжении	п. 5.1	п. 5.1	п. 8.1.1	п. 7.1.1	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.1
Чрезмерные деформации растянутого волокна	п. 5.28	п. 5.28	п. 10.1.3	п. 9.1.3	п. 1.6.1.3	п. 10.1.3	п. 7.28
Прочность при действии изгибающего момента M_y	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии изгибающего момента M_z	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии поперечной силы Q_y	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 10.1.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	пп. 7.12, 7.18
Прочность при действии поперечной силы Q_z	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 10.1.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	пп. 7.12, 7.18

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы	п. 5.14*	п. 5.14	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.14
Устойчивость при сжатии в плоскости XoY (XoU)	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 9.4
Устойчивость при сжатии в плоскости XoY (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	п. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	пп. 9.4, 9.20
Устойчивость при сжатии в плоскости XoZ (XoV))	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость при сжатии в плоскости XoZ (XoV)) (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	п. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.3, 9.20
Устойчивость при сжатии уголка	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	п. 5.27*	п. 5.37	пп. 10.2.9, 10.2.10	пп. 9.2.9, 9.2.10	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10	пп. 10.2.9, 10.2.10	п. 7.27
Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	п. 5.27, 7.20*	п. 5.27, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.4.6	пп. 9.2.2, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.2, 1.6.2.10, 1.6.4.5	пп. 10.2.2, 10.2.10, 10.4.5	п. 7.27, 9.20
Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	п. 5.27*	п. 5.27	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2	п. 7.27
Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	п. 5.27, 7.20*	п. 5.27, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.6	пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2, 9.4.6	пп. 1.6.2.8, 1.6.2.10, 1.6.3.1, 1.6.3.2, 1.6.4.5	пп. 10.2.8, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.5	п. 7.27, 9.20
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	п. 5.34	п. 5.35	п. 10.2.9	п. 9.2.9	п. 1.6.2.9	п. 10.2.9	п. 7.34

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях (закритическая работа)	п. 5.34, 7.20*	п. 5.35, 7.30	п. 10.2.9, 10.4.6	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10, 1.6.4.5	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.4.5	п. 7.34, 9.20
Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.30-5.32	пп. 5.30-5.32	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	пп. 7.30-7.32
Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.30-5.32, 7.20*	пп. 5.30-5.32, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.4.5	пп. 7.30-7.32, 9.20
Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (сечения типа  не проверяются)	пп. 5.27*, 5.30-5.32	пп. 5.27, 5.30-5.32	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 7.27, 7.30-7.32
Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.32, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.32, 7.30	пп. 10.2.4,10.2.5,10.2.8, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.32, 9.20

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость плоской формы изгиба (сечения типа  , не проверяются)	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15
Устойчивость плоской формы изгиба с учетом пластики	–	–	п. 9.4.6	п. 8.4.6	п. 1.5.4.6	п. 9.4.6	–
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9,7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10; 7.23, 7.26, 7.27, 7.28,	п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.3; п. 10.4.9	п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11; п. 8.5.1–8.5.9; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.3; п. 9.4.9	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; п. 1.6.4.5	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 10.3; п. 10.4.5	пп. 9.1 – 9.7, 9.10,9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.24, табл. 30; п. 7.27*	п. 7.32, 7.33, 7.34, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; п. 9.5.14; п. 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; п. 8.5.18; п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.6.4.7	п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.14; п. 10.4.8, табл. 10.4; п. 10.4.7	пп. 9.22, 9.23, 9.24, 9.27
Предельная тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 8.6	п. 8.6	п. 12.2.2	п. 11.2.2	п. 1.10.2.2	п. 14.2.2	п. 10.6
Местная устойчивость стенки трубы из расчета замкнутой круговой цилиндрической оболочки	пп. 8.5-8.13	пп. 8.5-8.13	пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 11.2.1-11.2.9	пп. 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.2.1-14.2.9	пп. 10.5-10.13
Соотношение высоты стенки балки к ее толщине	п. 7.4*	п. 7.4	п. 9.5.3	п. 8.5.3	п. 1.5.5.3	п. 9.5.3	п. 9.5

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Общая устойчивость сквозного стержня при центральном сжатии в плоскости XoY	пп. 5.3-5.6	пп. 5.3-5.6	пп. 8.1.3-8.1.5, 8.2.2	пп. 7.1.3-7.1.5, 7.2.2	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5, 1.4.2.2, 1.4.2.5	пп. 8.1.3, 8.1.5, 8.2.2, 8.2.5	пп. 7.3-7.6
Общая устойчивость сквозного стержня при центральном сжатии в плоскости XoZ	пп. 5.3-5.6	пп. 5.3-5.6	пп. 8.1.3-8.1.5, 8.2.2	пп. 7.1.3-7.1.5, 7.2.2	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5, 1.4.2.2, 1.4.2.5	пп. 8.1.3, 8.1.5, 8.2.2, 8.2.5	пп. 7.3-7.6
Устойчивость из плоскости действия момента M_z	пп. 5.27*, 5.30-5.32	пп. 5.27, 5.30-5.32	пп. 10.2.4,10.2.5,10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 7.27*, 7.30-7.32
Сопротивление соединительной планки изгибу	пп. 5.8, 5.9, 5.36	пп. 5.8, 5.9, 5.38	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.2.7, 7.2.8, 9.3.7	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.8, 1.6.3.7	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.8, 7.9, 7.36
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_y	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_z	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_y	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18*	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 8.2.1, 8.2.3	пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 7.12, 7.18
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_z	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 8.2.1, 8.2.3	пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 7.12, 7.18

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoY	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3-1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.4	пп. 7.3, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoY (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoZ	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4	пп. 7.3, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoZ (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.3.6, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.33, 5.35	пп. 5.27*, 5.33, 5.35	пп. 10.2.9, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.9, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.9, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.2, 9.2.10, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6, 9.4.6	пп. 1.6.2.2, 1.6.2.10, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.2, 10.2.10, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35, 9.20
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.33, 5.37	пп. 10.2.9, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.9, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.9, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.2-10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2, 9.4.6, 9.3.1-9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.8, 1.6.2.10, 1.6.3.2-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.8, 10.2.10, 10.3.2-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35, 9.20
Изгиб ветви в двух главных плоскостях	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.4.6, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35, 9.20
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35, 9.20
Прочность ветви при растяжении	пп. 5.1, 5.6	пп. 5.1, 5.6	пп. 8.1.1, 8.2.1	пп. 7.1.1, 7.2.1	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.1	пп. 8.1.3, 8.2.1	пп. 7.1, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4	пп. 7.3, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20
Чрезмерные деформации растянутого волокна ветви	п. 5.28	п. 5.28	п. 10.1.3	п. 9.1.3	п. 1.6.1.3	п. 10.1.3	п. 7.28
Устойчивость плоской формы изгиба ветви	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Гибкость стенки ветви из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9,7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9,7.10; 7.23, 7.26, 7.27, 7.28	п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.9	п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11; п. 8.5.1–8.5.9; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.9	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; п. 1.6.4.5	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 10.3; п. 10.4.5	пп. 9.1 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18
Гибкость свеса полки ветви из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.24, табл. 30; п. 7.27*	п. 7.32, 7.33, 7.34, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; п. 9.5.14; п. 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; п. 8.5.18; п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.6.4.7	п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.14; п. 10.4.8, табл. 10.4; п. 10.4.7	пп. 9.22, 9.23, 9.24, 9.27
Прочность стоек решетки	п. 5.8*, 5.10	пп. 5.8, 5.10	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.2.7, 7.2.9	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.8, 7.10
Прочность раскосов решетки	п. 5.8*, 5.10	пп. 5.8, 5.10	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.2.7, 7.2.9	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.8, 7.10
Устойчивость стоек решетки при сжатии	пп. 5.8*, 5.10, 5.3	пп. 5.8, 5.10, 5.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.2.7, 7.2.9, 7.1.3	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9, 1.4.1.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.3, 7.8, 7.10
Устойчивость раскосов решетки при сжатии	пп. 5.8*, 5.10, 5.3	пп. 5.8, 5.10, 5.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.2.7, 7.2.9, 7.1.3	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9, 1.4.1.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.3, 7.8, 7.10
Гибкость в плоскости XoY	пп. 6.15, 6.16	пп. 6.14, 6.15	п. 11.4.1	п. 10.4.1	п. 1.9.4.1	п. 13.4.1	п. 8.18
Гибкость в плоскости XoZ	пп. 6.15, 6.16	пп. 6.14, 6.15	п. 11.4.1	п. 10.4.1	п. 1.9.4.1	п. 13.4.1	п. 8.18

При проверках по гибкости используются значения, заданные в режиме **Предельные гибкости**. Выполняются проверки только поперечного сечения элемента.

Не предусмотрено выполнение проверок:

- ослабленных сечений, в которых имеются отверстия для болтов;
- расчета соединительных решеток и планок, за исключением режима **Стойки**;
- местного напряжения в стенке балки от сосредоточенной силы, за исключением режимов **Балки** и **Местная устойчивость**;
- местной устойчивости стенок двутавровых и коробчатых сечений с учетом их подкрепления *продольными* ребрами жесткости;
- прочности неразрезных и защемленных балок с учетом перераспределения усилий в пластической стадии.

Особенности реализации

1. СНиП не рассматривает задачу устойчивости растянуто-изогнутого стержня, но попросту не выполнять его проверку на устойчивость было бы неосторожно, поскольку при относительно небольшом растяжении потеря устойчивости все же может оказаться реальной (для упругого стержня это случилось бы тогда, когда в какой-нибудь фибре имеется сжатие, для упруго пластического стержня найти такую границу сложнее). Поскольку нормы не установили границу этого "относительно небольшого растяжения", мы в запас надежности провели ее по нулевому значению, что и приводит к рассмотрению чисто изогнутого стержня.

2. Поскольку нормативные документы не дают общей рекомендации по проверке устойчивости плоской формы изгиба при произвольных закреплениях и произвольном расположении нагрузок, в запас надежности реализуется проверка при предположении об отсутствии промежуточных раскреплений элемента, то есть в соответствующей формуле в качестве расчетной длины используется геометрическая длина элемента.

3. Нормы рекомендуют для внецентренно нагруженных стержней при определении относительного эксцентриситета принимать в качестве расчетного момент в сечении, которое расположено в определенной зоне стержня. Эта зона определяется в зависимости от варианта концевых закреплений стержня, о которых программа не имеет информации. Поэтому в запас надежности используется значение момента, максимального по длине элемента.

4. Формально при внецентренном сжатии (например, при действии N, M_y, M_z) в нормах нет требования проверки устойчивости при центральном сжатии. Однако без проверки того, что устойчивость при центральном сжатии обеспечена, другие проверки могут потерять смысл. Например, величина предельной гибкости типа 180-60α может стать отрицательной (величина α совпадает с фактором по устойчивости при центральном сжатии). Поэтому факторы по устойчивости при центральном сжатии вычисляются всегда.

5. Рекомендации норм в части определения коэффициента влияния формы сечения η для сварного неравнополочного двутавра ограничиваются случаем, когда отношение площади меньшей полки к площади большей полки составляет 0,5. Для случаев, когда такое соотношение превышает 0,5 при определении коэффициента влияния формы сечения η в программе предусмотрена линейная интерполяция между значениями η, вычисленными для равнополочного двутавра, и значениями η, вычисленными для неравнополочного двутавра с отношением площади меньшей полки к площади большей полки 0,5. Такой подход рекомендован в Изменении № 1 к ДБН В.2.6-198:2014.

Расчет прочности элементов, изгибаемых в двух главных плоскостях, отдельно не выполняется. Эта проверка включена в состав проверки прочности при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов как частный случай при $N = 0$.

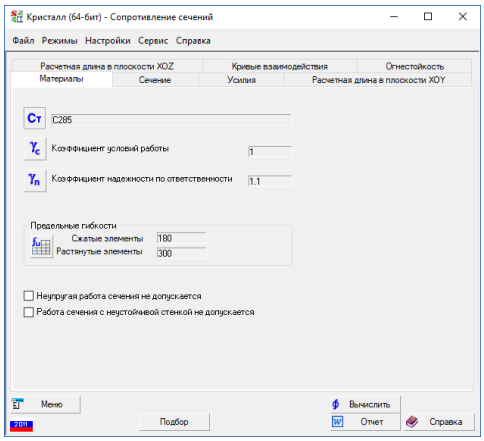


Рис. 4.9.1-1. *Страница* **Материалы** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

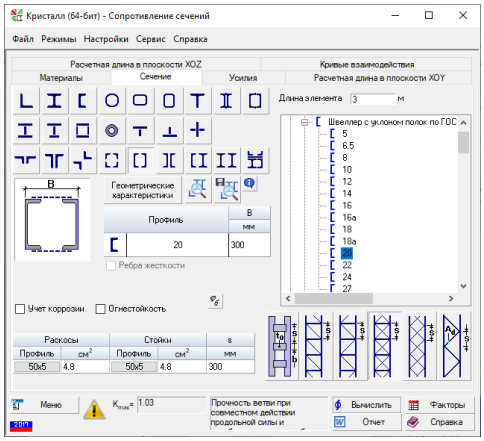


Рис. 4.9.1-2. *Страница* **Сечение** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

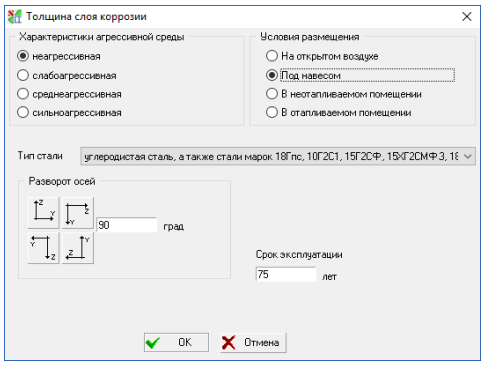


Рис. 4.9.1-3. *Диалоговое окно* **Толщина слоя коррозии**

Окно режима содержит шесть страниц: **Материалы** (рис. 4.9.1-1)**, Сечение** (рис. 4.9.1-2), **Усилия** (рис. 4.9.1-4), **Расчетная длина в плоскости XoY** (рис. 4.9.1-5), **Расчетная длина в плоскости XoZ**, **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.1-7). Первые пять страниц используются при вводе исходных данных, а шестая – для анализа результатов расчета.

Страница **Материалы** (рис. 4.9.1-1) включает кнопки доступа к информационным режимам **Сталь** — Ст, **Коэффициенты условий работы** — γ_c и **Предельные гибкости** — f_u. Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. **Коэффициенты надежности по ответственности** — γ_n задаются на странице **Материал** окна **Настройка приложений**. Эта страница используется и в тех случаях, когда характеристики стали или значения коэффициентов необходимо задать отличными от определенных нормативными документами.

Для элементов, воспринимающих продольную силу и изгибающий момент, нормы проектирования стальных конструкций предлагают две возможные проверки на прочность:

- с учетом возможной работы в упругопластической стадии;
- при отсутствии неупругой работы.

При этом возможность работы в упругопластической стадии ограничена рядом условий, например таких, как отсутствие непосредственного воздействия динамических нагрузок.

В случае, когда имеется непосредственное воздействие динамических нагрузок, а также в тех случаях, когда пользователь по каким-то иным причинам не желает выйти за пределы упругой работы, на закладке предусмотрен маркер **Неупругая работа сечения не допускается**.

Маркер **Потеря устойчивости стенки не допускается** служит для выполнения проверочного расчета сечения с учетом его закритической работы (после потери местной устойчивости стенки). Отмеченный маркер позволяет пользователю отказаться от закритической работы сечения в случае, если по результатам проверки происходит потеря местной устойчивости стенки.

Страница **Сечение** (рис. 4.9.1-2) содержит восемнадцать кнопок, нажатие которых позволяет назначить тип поперечного сечения. Выбранное сечение может быть сохранено в каталоге **Пользовательские сечения**, доступ к которому осуществляется по нажатии кнопки .

Следует также задать *расстояние между точками*

раскрепления из плоскости изгиба (именно эта величина будет использована при анализе устойчивости плоской формы изгиба).

Для тех типов поперечных сечений, для которых возможна установка поперечных ребер жесткости, можно использовать маркер **Ребра жесткости**, указав тем самым, что ребра установлены, а также задать их шаг. Если заданный пользователем шаг поперечных ребер жесткости превышает длину элемента, анализ местной устойчивости стенки элемента выполняется как для неоребренной стенки. В том случае, когда гибкость стенки элемента такова, что элемент классифицируется как элемент с гибкой стенкой, выводится фактор *Соотношение высоты стенки к ее толщине* со значением, превышающим 1,0. Расчет элементов с гибкой стенкой в программе не реализован ввиду крайне ограниченной области применения методики расчета таких конструкций (только для разрезных балок, несущих статическую нагрузку).

В режиме предусмотрена возможность выполнять проверочные расчеты с учетом коррозии. Для этого следует активировать соответствующий маркер, задать толщину слоя коррозии или воспользоваться кнопкой для вызова операции вычисления толщины слоя коррозии. В диалоговом окне **Толщина слоя коррозии** (рис. 4.9.1-3) следует задать информацию о характеристике агрессивности среды, размещении конструкции, сроке эксплуатации, угле наклона элемента к горизонту и угле поворота осей инерции. В результате будет произведен прогноз коррозии в соответствии с рекомендациями [2], [3], [4]. При выполнении расчетов предполагается, что толщина слоя коррозии одинакова по всему периметру сечения.

С помощью кнопки осуществляется доступ к архиву произвольных сечений, созданных с помощью программ **Конструктор сечений**, **Консул** и **ТОНУС** (см. [5]).

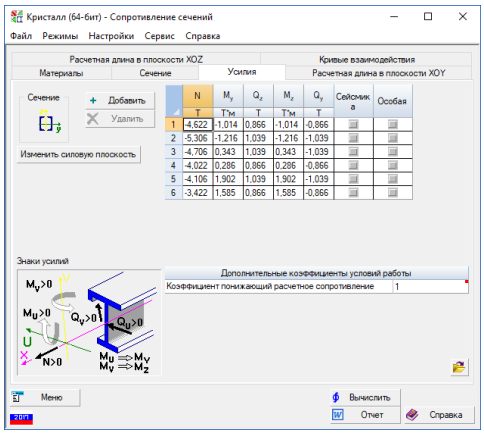


Рис. 4.9.1-4. *Страница* **Усилия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

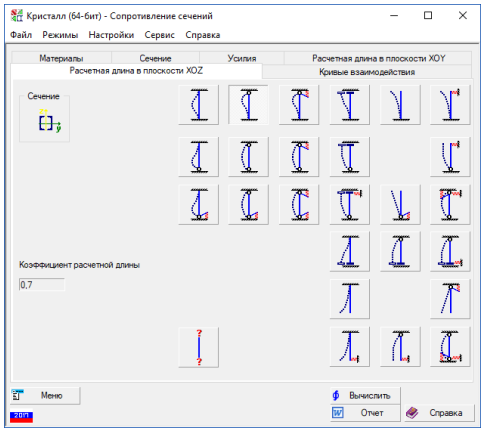


Рис. 4.9.1-5. *Страница* **Расчетная длина** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Следует отметить, что любое сечение, полученное с помощью **Конструктора Сечений**, рассматривается как произвольное сечение (т.е. сечение, отличное от стандартного). Это правило действует и в тех случаях, когда созданное сечение имеет «стандартную» форму (например, это просто прокатный или сварной двутавр, швеллер и т.п.). Для создания стандартных форм программа предоставляет достаточно много других возможностей.

Поскольку СНиП, СП и ДБН не дают рекомендаций по определению некоторых параметров для расчета произвольных сечений (коэффициента влияния формы сечения η, коэффициентов α и β по таблице 10 СНиП и др.), то расчет выполняется в запас надежности при самых неблагоприятных значениях этих величин, а проверка устойчивости плоской формы изгиба вообще не выполняется в предположении, что возможность такой формы потери устойчивости исключена применением соответствующих раскреплений. Кроме того, различные результаты будут получены и при анализе работы сечения под действием поперечных сил. Дело в том, что при определении касательных напряжений по нормативным документам предполагается, что перерезывающей силе сопротивляются только те части сечения, которые «направлены» вдоль действия силы. Например, **только** на стенку двутавра передается действие поперечной силы Q_z, одновременно **только** полки двутавра сопротивляются действию поперечной силы Q_y. Понятно, что это предположение идет в запас прочности. В случае произвольного сечения понятия стенка, полка отсутствуют, и программа предполагает, что сопротивление сдвигу осуществляет все сечение.

Именно с этим связано различие результатов расчета двух одинаковых сечений, одно из которых сформировано «стандартными средствами», а другое – **Конструктором Сечений**.

Страница **Усилия** (рис. 4.9.1-4) предназначена для ввода усилий, действующих в поперечном сечении элемента. На ней представлена условная схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции, а также показаны положительные направления усилий. Эта страница содержит таблицу, в которой задаются усилия, действующие в сечении от одного или нескольких загружений. Количество строк в таблице соответствует количеству загружений и увеличивается нажатием кнопки **Добавить**. Удаление отмеченных строк выполняется кнопкой **Удалить**.

Отдельные загружения могут быть помечены с помощью маркера **Сейсмика**. В этом случае будут автоматически учтены требования соответствующего (выбранного в главном окне) нормативного документа об использовании дополнительного коэффициента условий работы при строительстве в сейсмических районах. Кроме того, в данном окне появится специальная таблица, в которой можно ввести коэффициенты учета сейсмического воздействия при расчетах на прочность и расчетах на устойчивость. По умолчанию, если заданы нули, значения принимаются согласно соответствующим сейсмическим нормам. Введя, например, эти два коэффициента равными 0,9 можно учесть требования норм по расчету стальных

конструкций, подлежащих эксплуатации в неотапливаемых помещениях или на открытом воздухе при расчетной температуре ниже минус 40 °С.

Если расчет выполняется по СП 16.13330, то для того или иного загружения можно выставить маркер **Особое** (имеется ввиду особое несейсмическое загружение). При этом в специальной таблице появляется возможность задать коэффициент условий работы в соответствии с приложением Б к СП 296.1325800.2017 (кроме того, для таких загружений будет использоваться коэффициент надежности по ответственности γ_n=1,0 в соответствии с п. 5.5 СП 296.1325800.2017). Кроме того, может быть учтен дополнительный коэффициент условий работы, понижающий расчетное сопротивление, использование которого оговорено в п. 5.11 и приложении В к СП 296.1325800.2017.

Отметим, что есть несоответствие между СП 296.1325800 и СП 385.1325800. СП 296.1325800 вводит коэффициент условий работы для пластичных сталей равный 1,1, но при этом говорит о необходимости расчета на основании требований, которые предъявляются к расчетам на прогрессирующее обрушение (СП 385.1325800). В изменении № 1 к СП 385.1325800 приводится коэффициент условий работы равный 1,2. В программе используется значение 1,2.

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при использовании сечений, созданных в программе **Конструктор Сечений**, усилия должны быть заданы в главных осях U, V. При этом следует в качестве M_y задавать величину M_u (момент относительно оси максимального момента инерции), вместо M_z — задавать величину M_v, и т.п.

Изменение силовой плоскости выполняется одноименной кнопкой и приводит к переносу значений M_y и Q_y в графы таблицы M_z и Q_z, соответственно, и наоборот.

Страницы **Расчетная длина в плоскости XoY (XoZ)** (рис. 4.9.1-5) являются точной копией страницы **Расчетные длины** для случая **Отдельно стоящие колонны и стойки** из режима **Расчетные длины** и предлагают 25 возможных вариантов концевых закреплений в соответствующих силовых плоскостях для сжатого стержневого элемента, отличающихся друг от друга комбинациями граничных условий (свободный конец, шарнир, упругое опирание, упругое защемление, полное защемление).

Работа с этим окном описана в разделе 4.8.4. В отличие от режима **Расчетные длины** в этом окне есть кнопка **Коэффициент расчетной длины, задаваемый пользователем** — . При нажатии этой кнопки появляется возможность ввести любые значения коэффициента расчетной длины и подтвердить свой выбор нажатием кнопки **Применить**. Во всех остальных случаях это поле не допускает ввод данных.

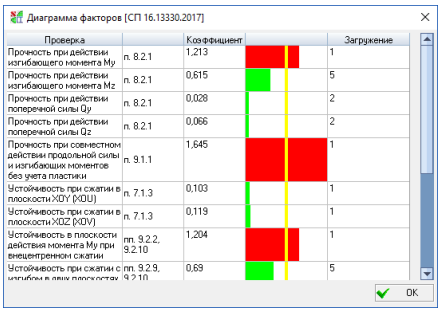


Рис. 4.9.1-6. О*кно* **Диаграмма факторов**

После ввода исходных данных можно нажать кнопку **Вычислить** и в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, получить максимальное (т. е. наиболее опасное) значение из проверенных коэффициентов использования ограничений и тип проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при которой этот максимум реализовался. Можно оперативно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования ограничений. Для этого используется кнопка **Факторы**, которая становится доступной после выполнения расчета. В окне **Диаграмма факторов** (рис. 4.9.1-6) в числовой форме и графической представлены значения соответствующих коэффициентов.

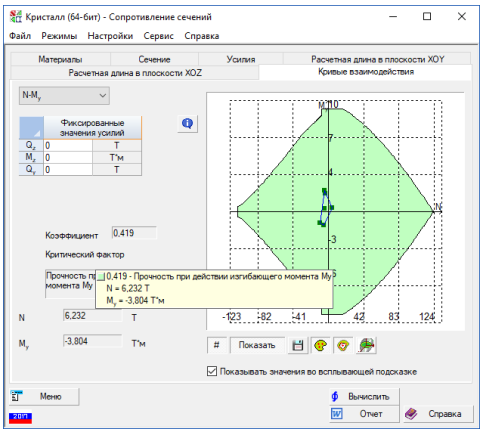


Рис. 4.9.1-7. *Страница* **Кривые взаимодействия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Кроме того, на странице **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.1-7) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности сечения при действии в нем различных пар усилий, которые могут возникнуть в рассматриваемом сечении.Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. Выбор пар усилий выполняется в выпадающем списке, а нажатие кнопки приводит к появлению сетки в поле отображения. Кривые окружают начало координат замкнутой линией, внутри которой располагаются точки с условно допустимыми парами рассматриваемых усилий. Напомним, что пара усилий считается допустимой, когда $K_{max} \le 1$. При этом все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений действующих усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях.

Поскольку факторы по гибкости не зависят от усилий, то при построении кривых взаимодействия они не вычисляются.

Одновременно выводится и максимальное значение коэффициента использования ограничений, соответствующее этим усилиям, и тип проверки, при которой он вычислен. Если курсор располагается в точке со значением $K_{max} > 1$, то появляется предупреждающий сигнал .

Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, соответствующих положению курсора на области построения кривой взаимодействия.

Кроме того, окно содержит три кнопки: , которые позволяют выполнить следующие действия:

— если заданы усилия, то нажатие этой кнопки приведет к отрисовке точек, координаты которых в области несущей способности соответствуют этим усилиям;

— отрисовка выпуклой оболочки указанных выше точек, т.е. всего множества точек, которые могут быть результатом линейной комбинации заданных усилий, в том числе и их неполных значений;

— сохранение в текстовом файле тех усилий, которые приводят к $K_{max}=1$ (в дальнейшем данный файл можно импортировать в другие программы для дальнейшего анализа).

4.9.2 Болтовые соединения

Этот режим дает возможность проверки болтовых соединений следующих трех типов:

- присоединение одиночных и спаренных уголков к фасонке;
- соединение листовых деталей на накладках;
- присоединение стенки балки на накладках.

Набор проверок определяется типом соединений и комплектом действующих на него нагрузок.

В соответствии с выбранным нормативным документом выполняются следующие проверки:

Примыкания уголков проверяются по	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
смятию уголка	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7

Примыкания уголков проверяются по	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
срезу болта	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
прочности ослабленного сечения уголка	пп. 5.12, 5.25*	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25

Соединения на накладках проверяются по	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
смятию накладки	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
смятию стенки	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
срезу болтов	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
прочности ослабленного сечения накладки	п. 11.7	п. 11.7	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	п. 13.7

Присоединения стенки балки проверяются по	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
смятию накладки	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
смятию стенки	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
срезу болтов	п. 11.7	п. 11.7	п. 15.2.9	п. 14.2.9	п. 1.12.2.9	п. 16.2.9	п. 13.7
прочности ослабленного сечения накладки	пп. 5.12, 5.25*	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25
прочности ослабленного сечения стенки балки	пп. 5.12, 5.25*	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25

Ограничения реализации

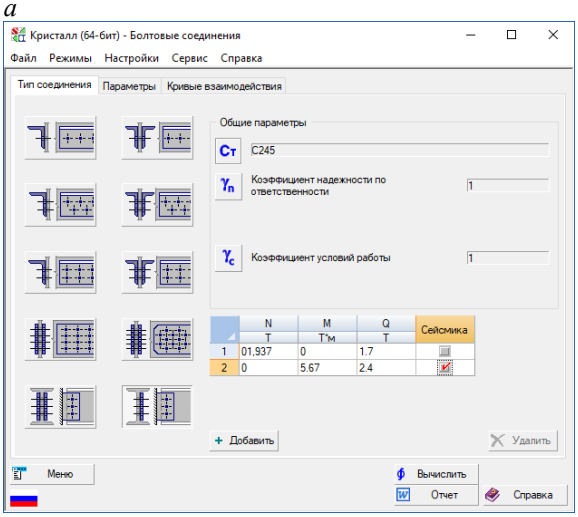
При выполнении проверки болта на срез в запас прочности используется ослабленное резьбой сечение, поскольку фактическое выполнение требований п. 12.18* СНиП II-23-81* (п. 15.2.9 СП 53-102-2004, п. 14.2.9 СП 16.13330, п. 1.12.2.9 ДБН В.2.6-163:2010, п. 16.2.9 ДБН В.2.6-198:2014) во многих случаях невозможно проконтролировать (например, при проверке несущей способности эксплуатируемых конструкций по ДБН 362-92).

При проверках диаметр болтового отверстия принят на 3 мм больше диаметра болта.

Предполагается, что все элементы соединения (уголки, накладки, …) изготовлены из одной и той же стали.

Окно **Болтовые соединения** содержит три страницы: **Тип соединения**, **Параметры**, **Кривые взаимодействия**. Первая из них (рис. 4.9.2-1, *а*, *б*) содержит кнопки, с помощью которых можно выбрать тип проверяемого соединения, а также таблицу для ввода данных о действующих в нем усилиях (предполагается, что точкой приложения усилий является центр тяжести сечения). Кроме того, на этой странице расположена типовая группа элементов управления **Общие параметры**, описание которой приведено в разделе 3.2.

а



б

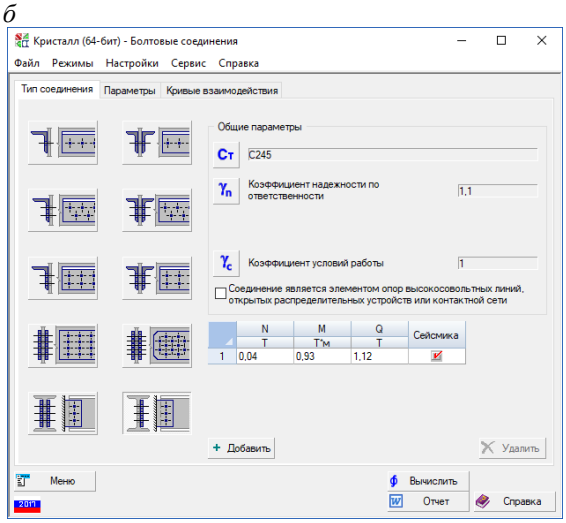


Рис. 4.9.2-1. *Страница* **Тип соединения**
а – по СНиП II-23-81*, *б* – по СП 53-102-2004 или СП 16.13330

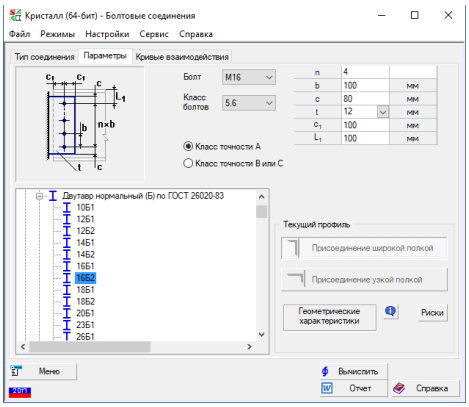


Рис. 4.9.2-2. *Страница* **Параметры**

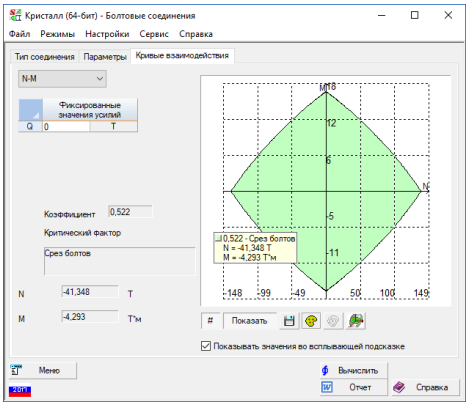


Рис. 4.9.2-3. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Болтовые соединения**

Страница **Параметры** (рис. 4.9.2-2) предназначена для задания информации о размерах соединения, диаметре и классе используемых болтов, черноте (разности номинальных диаметров отверстий и болтов).

Программа контролирует задаваемые размеры на соответствие требованиям нормативных документов. Проверяемые величины представлены в таблице 4.9.2-1.

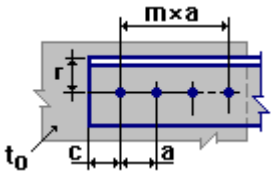
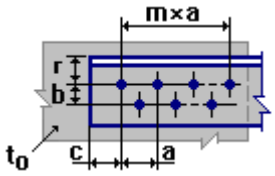
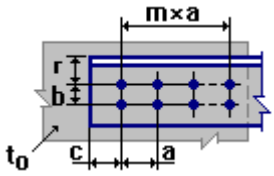
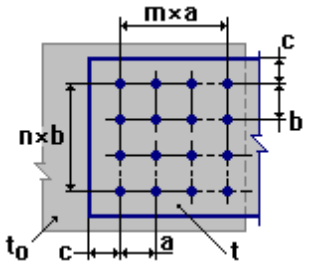
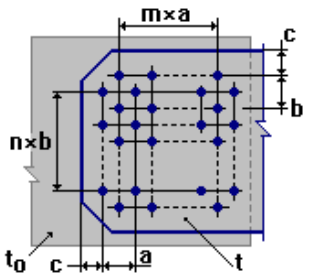
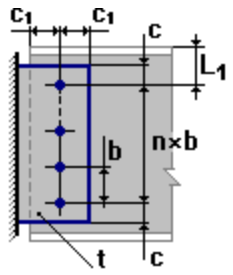
В группе **Текущий профиль** для узлов из неравнополочных уголков предусмотрено задание полки присоединения (широкая или узкая), а также для профилей всех видов выдача геометрических характеристик сечения.

Кнопка позволяет оперативно просмотреть используемые ограничения размеров.

Для конструкций, использующих прокатные профили (уголки, двутавры), предусмотрено получение справки о рекомендуемом расположении болтовых отверстий в пределах профиля (кнопка **Риски**).

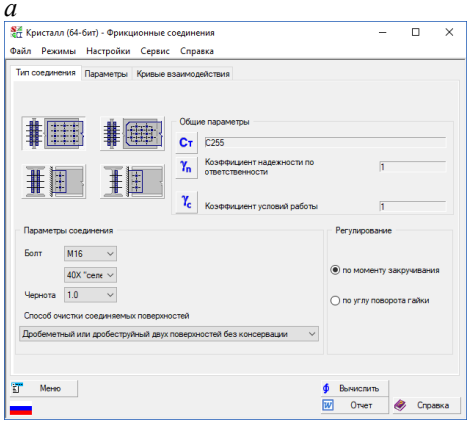
На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.2-3) выводятся кривые взаимодействия силовых факторов, ограничивающие область несущей способности болтового соединения. Управление выводом аналогично описанному в разделе **Сопротивление сечений** (см. раздел 4.9.1).

Таблица 4.9.2-1. Контроль данных болтовых соединений

Эскиз узла	Контроль	Обозначения
	$m \geq 1$ $c_{maxL} \geq c \geq 1{,}5d_0$ $a_{maxL} \geq a \geq a_{min}$ $r \geq 0{,}95d_0 + R_1 + t_L$ $b_L - r \geq 1{,}2d_0$	d_0 — диаметр отверстия для болта a_{maxL} — максимальное расстояние между болтами крайнего ряда a_{maxT} — максимальное расстояние между болтами среднего ряда a_{min} — минимальное расстояние между болтами R_1 — радиус закругления прокатного профиля t_L — толщина уголка b_L — ширина уголка h_w — толщина полки двутавра H — высота двутавра c_{maxL} — максимальное расстояние до края профиля t_0 — толщина основной конструкции
	$m \geq 1$ $c_{maxL} \geq c \geq 1{,}5d_0$ $a_{maxL} \geq a \geq a_{min}$; $a_{maxL} \geq b \geq 0{,}5a_{min}$ $r \geq 0{,}95d_0 + R_1 + t_L$ $b_L - r - b \geq 1{,}2d_0$	
	$m \geq 1$ $c_{maxL} \geq c \geq 1{,}5d_0$ $a_{maxL} \geq a \geq a_{min}$; $a_{maxL} \geq b \geq a_{min}$ $r \geq 0{,}95d_0 + R_1 + t_L$ $b_L - r - b \geq 1{,}2d_0$	
	$m \geq 1$ $n \geq 1$ $c_{max} \geq c \geq 1{,}5d_0$ $a_{maxT} \geq a \geq a_{min}$; $a_{maxT} \geq b \geq a_{min}$	
	$m \geq 1$ $n \geq 1$ $c_{max} \geq c_1 \geq 1{,}5d_0$ $a_{maxT} \geq a \geq a_{min}$; $a_{maxT} \geq b \geq a_{min}$	
	$n \geq 1$ $c_{max} \geq c_1 \geq 1{,}5d_0$ $c_1 \geq 1{,}5d_0$ $a_{max} \geq b \geq a_{min}$ $H - nb \geq 2L_1$ $L_1 - c \geq (H - h_w)/2$	

4.9.3 Фрикционные соединения

а



б

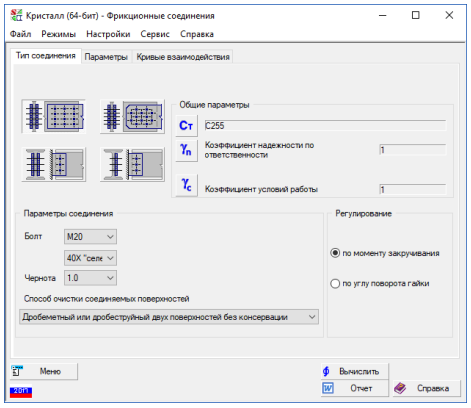


Рис. 4.9.3-1. *Страница* **Тип соединения**
а – по СНиП II-23-81*,
б – по СП 53-102-2004 или СП 16.13330

Окно этого режима и методы работы с ним во многом повторяют окно **Болтовые соединения**. Режим дает возможность проверки следующих типов болтовых соединений на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением:

- соединения листовых деталей на накладках;
- присоединение стенки балки на накладках.

Выбор типа соединения реализуется нажатием на соответствующую кнопку страницы **Тип соединения** (рис. 4.9.3-1). Предусмотренные табл. 36* СНиП II-23-81* (табл. 39 СП 53-102-2004, табл. 39 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014) коэффициенты трения μ и коэффициенты надежности γ_h определяются программой в зависимости от способа очистки, выбранного в выпадающем списке **Способ очистки соединяемых поверхностей** и указанного с помощью маркера способа регулирования. При этом для определения γ_h принимается, что разность номинальных диаметров отверстий и болтов при статической нагрузке равна 1…4 мм.

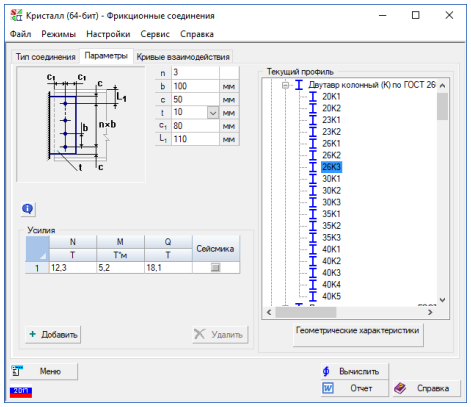


Рис. 4.9.3-2. *Страница* **Параметры**

На странице **Параметры** (рис. 4.9.3-2) находятся таблицы для ввода данных о размерах соединения и задания усилий, действующих в нем (предполагается, что точкой приложения усилий является центр тяжести сечения). Здесь же выбирается профиль балки.

Набор проверок определяется типом соединений и комплектом действующих на него нагрузок.

Соединения проверяются по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Предельная сила трения	п. 11.13	п. 11.13	п. 15.3.3	п. 14.3.3	п. 1.12.3.3	п. 16.3.3	п. 13.13
Прочность ослабленного сечения	пп. 5.12, 5.25	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25
Прочность ослабленного сечения накладки	пп. 5.12, 5.25*	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25
Прочность ослабленного сечения стенки	пп. 5.12, 5.25*	пп. 5.12, 5.25	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 8.2.1, 9.1.1	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1	пп. 9.2.1, 10.1.1	пп. 7.12, 7.25

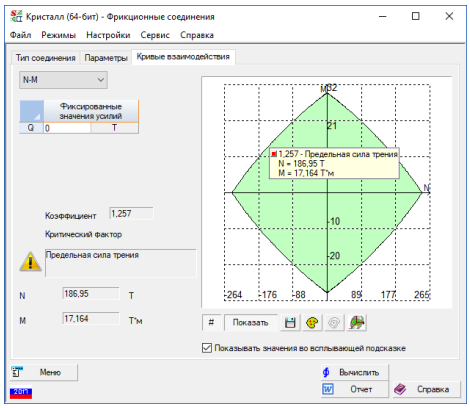
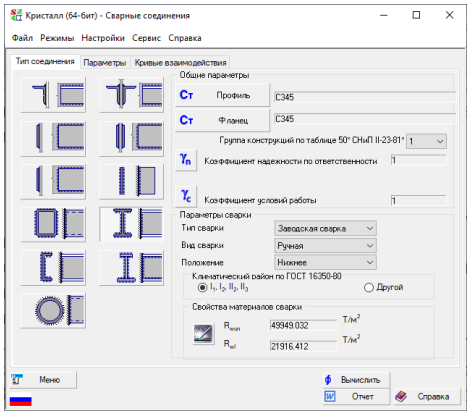


Рис. 4.9.3-3. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Фрикционные соединения**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.3-3) можно построить кривые взаимодействия силовых факторов, ограничивающие область несущей способности фрикционного соединения. Она полностью аналогична такой же странице режима **Сопротивление сечений** (см. раздел 4.9.1).

4.9.4 Сварные соединения

а



б

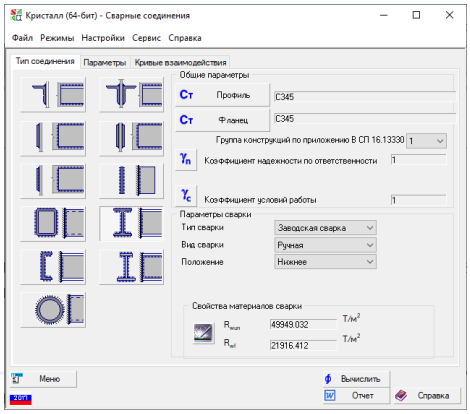


Рис. 4.9.4-1. *Страница* **Тип соединения**
а – по СНиП II-23-81*,
б – по СП 53-102-2004 или СП 16.13330

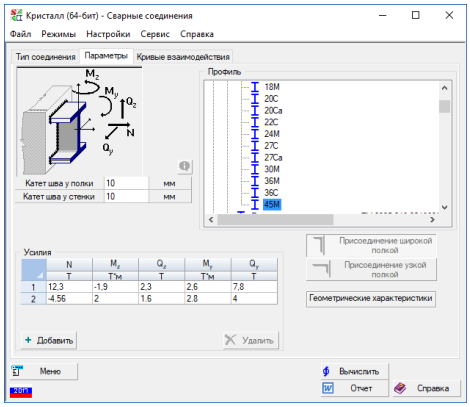


Рис. 4.9.4-2. *Страница* **Параметры**

Этот режим дает возможность проверить сварные соединения следующих трех типов:

- присоединение одиночных и спаренных уголков к фасонке;
- присоединение листов внахлест;
- торцевое присоединение листа, двутавра, швеллера или трубы.

Набор проверок определяется типом соединений и комплектом действующих на него нагрузок. Все типы соединений проверяются в соответствии с указаниями п. 11.2, а в необходимых случаях — и пп. 11.3, 11.5 СНиП II-23-81*, либо по требованиям раздела 15.1 СП 53-102-2004 (раздела 14.1 СП 16.13330, раздела 1.12.1 ДБН В.2.6-163:2010, раздела 16.1 ДБН В.2.6-198:2014).

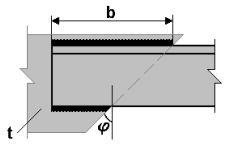
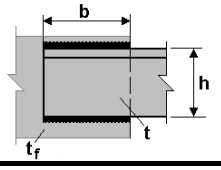
Окно содержит три страницы: **Тип соединения**, **Параметры**, **Кривые взаимодействия**.

Первая из них (рис. 4.9.4-1) содержит кнопки, с помощью которых можно выбрать тип проверяемой конструкции. Кроме того, здесь располагаются выпадающие списки для задания данных о типе сварки, виде сварки и положении шва в процессе производства работ. Необходимо в каждой группе выбрать один из альтернативных вариантов, что дает возможность определить коэффициенты β_f и β_z в соответствии с табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.1 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 16.1 ДБН В.2.6-198:2014).

Другие параметры, участвующие в расчете, были определены ранее при работе в режимах **Сталь**, **Материалы для сварки**, **Коэффициенты условий работы**, **Группа конструкций**. Их значения отображаются в соответствующих окнах и, при желании, могут быть изменены пользователем.

Страница **Параметры** (рис. 4.9.4-2) предназначена для задания информации о размерах соединения и для ввода данных об усилиях, действующих на соединение (предполагается, что точкой приложения усилий является центр тяжести сечения). Здесь же задаются катеты швов, контролируемых на соответствие требованиям нормативных документов.

Таблица 4.9.4-1. Контроль данных сварных соединений

Эскиз узла	Контроль исходных данных
	$0 \le \varphi < 45^{o}$ $b \pm h\ tg\varphi \ge 4$ см $t \ge 0{,}8\ t_{уголка}$
	$b \ge 4$ см $h \ge 4$ см

Сварные соединения проверяются по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
По металлу шва	п. 11.2 формула (120), п. 11.3 формула (126)	п. 11.2 формула (147), п. 11.3 формула (163)	п. 15.1.16 формула(155), п. 15.1.19 формула (161)	п. 14.1.16 формула (176) п. 14.1.19 формула (182)	п. 1.12.1.16 формула (1.12.2), п. 1.12.1.19 формула (1.12.8)	п. 16.1.16 формула (16.2), п. 16.1.19 формула (16.8)	п. 13.2, 13.3
По металлу границы сплавления	п. 11.2 формула (121), п. 11.3 формула (126)	п. 11.2 формула (148), п. 11.3 формула (163)	п. 15.1.16 формула (156), п. 15.1.19 формула (161)	п. 14.1.16 формула (177), п. 14.1.19 формула (182)	п. 1.12.1.16 формула (1.12.3), п. 1.12.1.19 формула (1.12.8)	п. 16.1.16 формула (16.3) п. 16.1.19 формула (16.8)	п. 13.2, 13.3

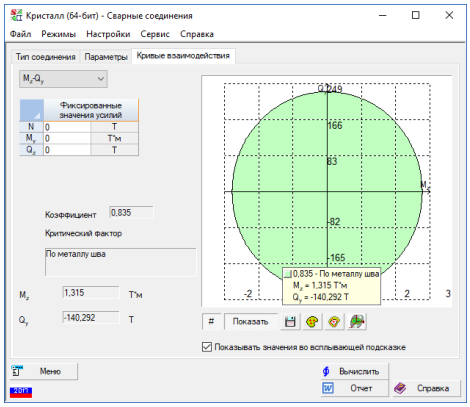


Рис. 4.9.4-3. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Сварные соединения**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.4-3) выводятся кривые взаимодействия силовых факторов, ограничивающие область несущей способности сварного соединения. Управление выводом аналогично описанному в режиме **Сопротивление сечений** (см. раздел 4.9.1).

4.9.5 Местная устойчивость

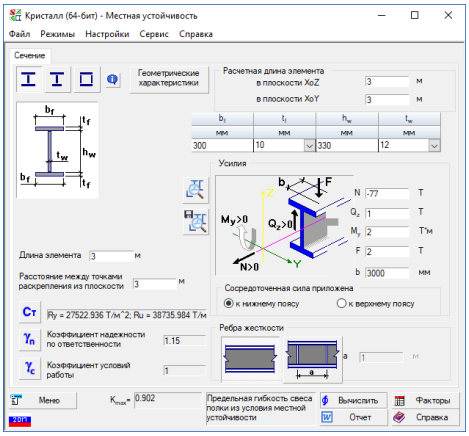


Рис. 4.9.5-1. *Режим* **Местная устойчивость**

Этот режим реализует проверки местной устойчивости элементов сечений (полок и стенок) для стержневых элементов стальных конструкций с поперечным сечением в форме симметричных и асимметричных двутавров, а также коробчатых сечений. Ввод исходных данных и представление результатов выполняются в окне, показанном на рис. 4.9.5-1.

Выполняются проверки местной устойчивости стенок и полок для изгибаемых, внецентренно-сжатых и сжатых стержневых элементов стальных конструкций. При этом рассматриваются только конструктивные решения с поперечными двусторонними ребрами жесткости, устроенными на всю высоту стенки, а также конструктивные решения с неоребренной стенкой.

В отличии от режимов типа **Сопротивление сечений** в данном режиме можно провести анализ местной устойчивости с учетом локальных напряжений в стенке балки от сосредоточенной силы.

В соответствии с выбранным нормативным документом выполняются следующие проверки:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-23-81***	**Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002**	**Ссылка на СП 53-102-2004**	**Ссылка на СП 16.13330**	**Ссылка на ДБН В.2.6 -163:2010**	**Ссылка на ДБН В.2.6 -198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1, 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*	пп. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10, 7.23, 7.26, 7.27, 7.28	п. 8.3.2, табл. 8; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.3;	п. 7.3.2, табл. 9; п. 8.5.1–8.5.9; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.3	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3;	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 10.3;	пп. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.24, табл. 30;	пп. 7.32, 7.33, 7.34	п. 8.3.7, табл. 9; п. 9.5.14; п. 10.4.7, табл. 21;	п. 7.3.8, табл. 10; п. 8.5.18; п. 9.4.7, табл. 23;	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4;	п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.14; п. 10.4.8, табл. 10.4;	п. 9.22, 9.23, п. 9.24
Соотношение высоты стенки балки к ее толщине	п. 7.4*	п. 7.4	п. 9.5.3	п. 8.5.3	п. 1.5.5.3	п. 9.5.3	п. 9.5

Определяется значение K_{max} и выполняется просмотр значений всех факторов с использованием диаграммы, раскрывающейся при нажатии кнопки **Факторы**.

Ограничения реализации

Не рассматриваются конструкции подкрановых балок, а также конструктивные решения с односторонними ребрами жесткости или продольными ребрами жесткости.

4.9.6 Сопротивление Sin-сечений

В этом режиме реализуется функция проверки несущей способности стержневых элементов металлических конструкций, сечение которых принято в форме сварного двутавра с гофрированной стенкой. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции. Реализован весь комплекс проверок по прочности и устойчивости несущих элементов стержневых конструкций с гофрированной стенкой в соответствии с требованиями СП 294.1325800.2017 или ДБН В.2.6-198:2014.

Набор проверок сечений с гофрированной стенкой определяется комплектом внутренних усилий, действующих в них, и приведен ниже.

Проверка	**Ссылка на СП 294.1325800.2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014**
Прочность на действие продольной силы N	п. 20.6.2.1	п. 24.2.1
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси Y-Y от действия продольной силы N	п. 20.6.2.2	п. 24.2.2
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси Z-Z от действия продольной силы N	п. 20.6.2.2	п. 24.2.2
Прочность на действие изгибающего момента M_y	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие поперечной силы Q_z	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие изгибающего момента M_z	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие поперечной силы Q_y		
Прочность на действие изгибающих моментов M_y и M_z	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие изгибающего момента M_y и поперечной силы Q_z	п. 20.6.3.3	п. 24.3.3
Прочность на действие изгибающего момента Mz и поперечной силы Q_y		
Устойчивость плоской формы изгиба на действие изгибающего момента M_y	п. 20.6.3.4	п. 24.3.4
Устойчивость плоской формы изгиба при косом изгибе	п. 20.6.3.5	п. 24.3.5
Местная устойчивость гофрированной стенки при изгибе	п. 20.6.3.6	п. 24.3.6
Общая устойчивость гофрированной стенки при изгибе	п. 20.6.3.6	п. 24.3.6
Местная устойчивость свеса пояса балки с гофрированной стенкой при изгибе	п. 20.6.3.12	п. 24.3.12
Прочность на действие продольного усилия N и изгибающих моментов M_y, M_z	п. 20.6.4.1	п. 24.4.3
Устойчивость при внецентренном сжатии в плоскости действия момента	п. 20.6.4.2	п. 24.4.4
Устойчивость при внецентренном сжатии из плоскости действия момента	п. 20.6.4.3	п. 24.4.5
Прочность гофрированной стенки на действие поперечной силы	п. 20.6.4.5	п. 24.4.7
Местная устойчивость свеса пояса элемента конструкции с гофрированной стенкой при сжатии	п. 20.6.4.7	п. 24.4.9
Местная устойчивость свеса пояса элемента конструкции с гофрированной стенкой при внецентренном сжатии	п. 20.6.4.7	п. 24.4.9
Устойчивость в плоскости стенки при сжатии и изгибе в двух плоскостях инерции	п. 20.6.4.4	п. 24.4.6
Устойчивость из плоскости стенки при сжатии и изгибе в двух плоскостях инерции	п. 20.6.4.4	п. 24.4.6

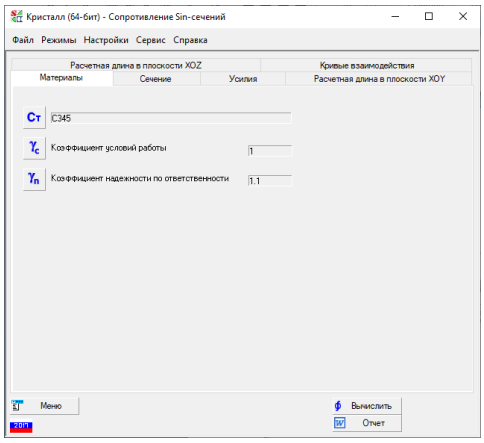


Рис. 4.9.6-1. *Страница* **Материалы** *диалогового окна* **Сопротивление Sin-сечений**

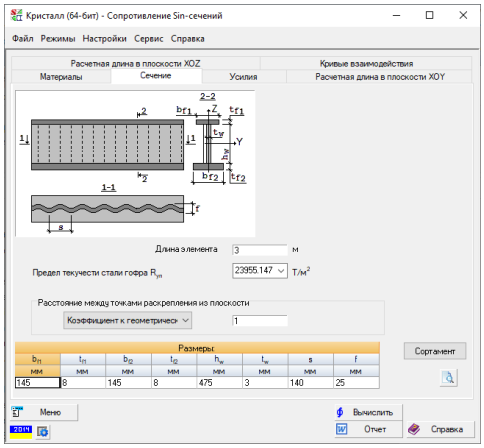


Рис. 4.9.6-2. *Страница* **Сечение** *диалогового окна* **Сопротивление Sin-сечений**

Главное окно режима содержит такие страницы: **Материалы** (рис. 4.9.6-1), **Сечение** (рис. 4.9.6-2), **Усилия** (рис. 4.9.6-3), **Расчетная длина в плоскости XoY**, **Расчетная длина в плоскости XoZ**, **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.6-4). Первые пять страниц используются при вводе исходных данных, а шестая – для анализа результатов расчета.

Страница **Материалы** (рис. 4.9.6-1) включает кнопки доступа к информационным режимам **Сталь** — Ст, **Коэффициенты условий работы** — γ_c, **Коэффициенты надежности по ответственности** — γ_n. Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам.

На странице **Сечение** (рис. 4.9.6-2) содержится таблица **Размеры**, куда необходимо ввести размеры сечения несущего элемента в виде сварного двутавра с гофрированной стенкой: ширину и толщину нижней и верхней полок двутавра, высоту стенки, толщину гофрированной стенки, шаг и амплитуду гофра. Здесь же задается информация о форме стенки (синусоидальная или треугольная). Кроме того, на этой же странице в поле **Длина элемента** задается геометрическая длина несущего элемента конструкции.

В программе предусмотрена возможность задать различные значения расчетного сопротивления стали для полок сварного двутавра и для его гофрированной стенки. Для этого на странице **Сечение** (рис. 4.9.6-2) содержится поле ввода **Расчетное сопротивление стали гофра R_y**.

На этой же странице в одноименном поле задается расстояние между раскреплениями из плоскости изгиба, которое является расчетной длиной при проверке устойчивости плоской формы изгиба. Данное расстояние можно задать как с использованием коэффициента к геометрической длине элемента, так и непосредственно задавая его значение. Выбор способа задания раскрепления элемента из плоскости изгиба осуществляется выбором соответствующей строки в выпадающем списке.

Кнопка **Сортамент** позволяет выбрать геометрические размеры сечения из сортаментов двутавров с гофрированными стенками.

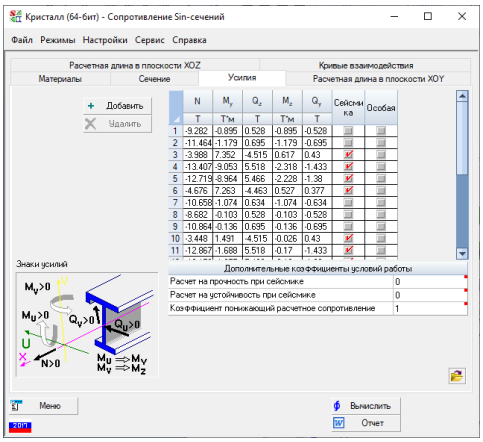


Рис. 4.9.6-3. *Страница* **Усилия** *диалогового окна* **Сопротивление Sin-сечений**

Страница **Усилия** (рис. 4.9.6-3) предназначена для ввода усилий, действующих в поперечном сечении несущего элемента с гофрированной стенкой. На ней представлена условная схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции, а также показаны положительные направления усилий. Эта страница содержит таблицу, в которой задаются усилия, действующие в сечении от одного или нескольких загружений. Количество строк в таблице соответствует количеству загружений и увеличивается нажатием кнопки **Добавить**. Подробно работа на этой странице описана в п. 4.9.1

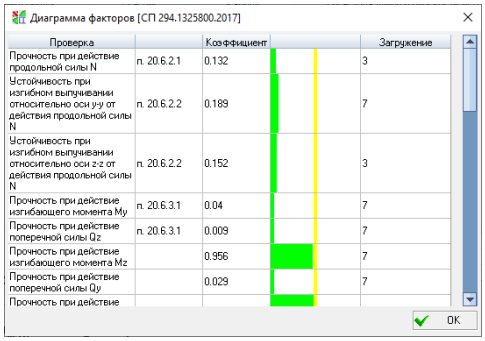


Рис. 4.9.6-4. *Окно* **Диаграмма факторов** *расчетного режима* **Сопротивление Sin-сечений**

После ввода исходных данных можно нажать кнопку **Вычислить** и в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, получить максимальное (т. е. наиболее опасное) значение из проверенных коэффициентов использования ограничений и тип проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при которой этот максимум реализовался. Можно оперативно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования ограничений. Для этого используется кнопка **Факторы**, которая становится доступной после выполнения расчета. В окне **Диаграмма факторов** (рис. 4.9.6-4) в числовой и графической формах представлены значения соответствующих коэффициентов.

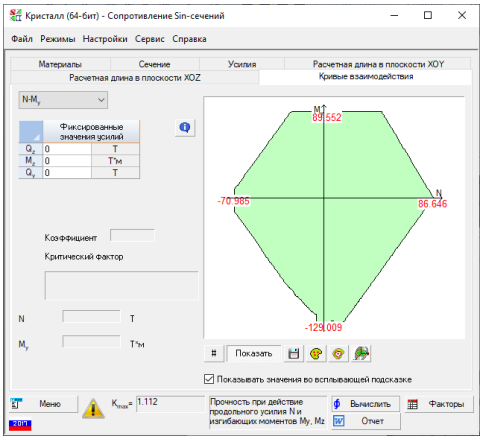


Рис. 4.9.6-5. *Страница* **Кривые взаимодействия** *диалогового окна* **Сопротивление Sin-сечений**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 4.9.6-5) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности стержневого элемента сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой при действии в нем различных пар усилий, которые могут возникнуть в рассматриваемом сечении. Подробно работа на этой странице описана в п. 4.9.1

4.10 Проектирование конструктивных элементов

4.10.1 Фермы

С помощью этого режима осуществляются все необходимые проверки элементов ферм на прочность и устойчивость, а также проверяется их гибкость. При этом работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых внешних нагрузок для схем конструкций, наиболее часто используемых на практике. Возможен вариант работы с подбором сечений из заранее составленного сортамента поперечных сечений.

При работе режима для каждого элемента фермы в соответствии с выбранным нормативным документом выполняются следующие проверки:

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность	п. 5.1	п. 5.1	п. 8.1.1	п. 7.1.1	п. 1.4.1.1	п. 8.1.1	п. 7.1
Устойчивость в плоскости фермы	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость в плоскости фермы (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	пп. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.3, 9.20
Устойчивость из плоскости фермы	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость из плоскости фермы (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	пп. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.3, 9.20
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	п. 7.1, 7.2*, пп. 7.14, табл. 27*	пп. 7.1, 7.2, 7.23	п. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10	п. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11	п. 1.4.3.1, 1.4.3.2, табл. 1.4.3	п. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8.3	пп. 9.1, 9.2, 9.3, пп. 9.15
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.27*	пп. 7.32, 7.33, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4	п. 8.3.7, табл. 8.4	п. 9.22, 9.23, п. 9.27
Тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 8.6	п. 8.6	п. 12.2.2	п. 11.2.2	п. 1.10.2.2	п. 14.2.2	п. 10.6

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Местная устойчивость стенки трубы из расчета замкнутой круговой цилиндрической оболочки	пп. 8.5-8.13	пп. 8.5-8.13	пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 11.2.1-11.2.9	пп. 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.2.1-14.2.9	пп. 10.5-10.13
Устойчивость искривленного элемента							
Жесткость фермы							
Гибкость	пп. 6.1-6.4,6.16	пп. 6.1-6.4, 6.15	пп. 11.1.1-11.1.4, 11.4.1	пп. 10.1.1-10.1.4, 10.4.1	пп. 1.9.1.1-1.9.1.4, 1.9.4.1	пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	пп. 8.1-8.4, 8.18

Ограничения реализации

При подборе и проверке элементов ферм приняты следующие значения коэффициента условий работы γ_c:

- 0,95 — поясов, опорных раскосов, растянутых элементов решетки, сжатых элементов решетки крестового сечения;
- 0,8 — сжатых элементов решетки таврового сечения при гибкости их больше 60.

Поскольку требование норм относительно ограничения гибкости растянутого элемента связано с ограничением его провисания от собственного веса, то проверка гибкости растянутых элементов регламентирована только в вертикальной плоскости (например, согласно примечанию 1 к табл. 33 СП 16.13330).

В режиме **Фермы** предполагается, что вертикальной является именно плоскость фермы. Гибкость растянутых элементов фермы из плоскости фермы не проверяется. Соответственно, раскрепление нижнего (растянутого) пояса из плоскости фермы не влияет на результат проверки его гибкости.

В том случае, если пользователю необходимо выполнить проверку гибкости растянутых элементов из плоскости фермы (для горизонтальных ферм, или для ферм, расположенных под углом к горизонту), можно воспользоваться режимом **Сопротивление сечений**. При проверочном расчете растянутого элемента в режиме **Сопротивление сечений** проверке подлежат обе его гибкости, поскольку само понятие вертикальной плоскости в данном режиме отсутствует.

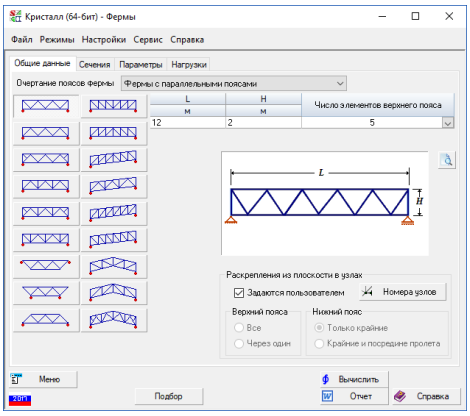


Рис. 4.10.1-1. *Страница* **Общие данные** *режима* **Фермы**

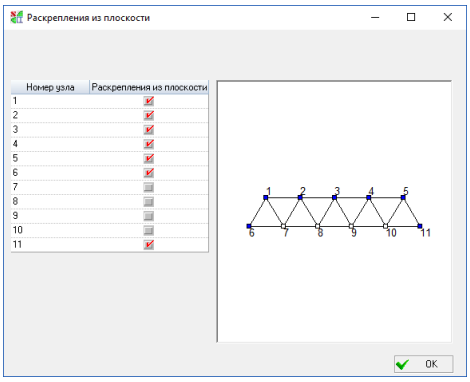


Рис. 4.10.1-2. *Диалоговое окно* **Раскрепление из плоскости**

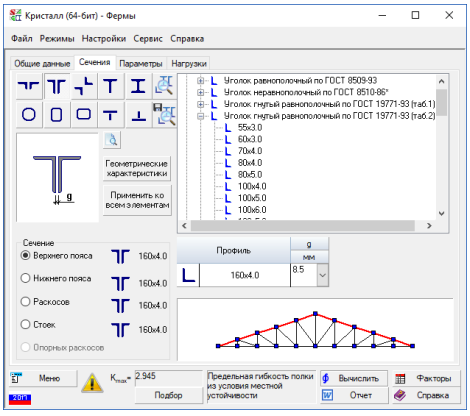


Рис. 4.10.1-3. *Страница* **Сечения** *режима* **Фермы**

Окно включает четыре страницы: **Общие данные**, **Сечения**, **Параметры** и **Нагрузки**.

Страница **Общие данные** (рис. 4.10.1-1) включает выпадающий список для выбора вида фермы по очертанию поясов и группу кнопок для выбора конфигурации фермы. Предусмотрен расчет ферм следующих видов: с параллельными поясами, треугольных, трапецеидальных, с полигональным верхним поясом, односкатные и двухскатные. Все фермы статически определимые и предполагаются закрепленными в крайних узлах нижнего пояса статически определимым способом по балочной схеме.

Для выбранной конфигурации задается пролет фермы и ее высота на опоре. Если речь идет о трапециевидной схеме, то задаются дополнительные геометрические параметры.

На этой же странице с помощью маркеров указывается вариант раскрепления узлов верхнего и нижнего поясов из плоскости фермы (считается, что в плоскости фермы раскрепление произведено статически определимым образом — шарнирное неподвижное опирание левого опорного узла и шарнирное подвижное опирание правого узла). В случае, если активен маркер **Задаются пользователем,** становится доступной кнопка **Номера узлов**, нажатием которой вызывается диалоговое окно **Раскрепление из плоскости** (рис. 4.10.1-2). В этом окне приведена расчетная схема фермы с пронумерованными узлами и таблица, в которой каждому узлу фермы соответствует маркер. Активное состояние маркера говорит о наличии раскрепления в данном узле. Раскрепленные узлы помечаются на схеме синим цветом. Узлы, помеченные в таблице серым цветом, раскрепляются по умолчанию и их состояние изменить нельзя.

На странице **Сечения** (рис. 4.10.1-3) назначаются поперечные сечения элементов фермы. Предполагается, что по длине фермы ни сечения поясов, ни сечения элементов решетки не меняются. Сечения компонуются из парных равнополочных или неравнополочных уголков, располагаемых в форме тавра (последние — в двух вариантах) или креста из равнополочных уголков, а также из труб круглого и прямоугольного сечений.

При выборе сечений используется база данных прокатных профилей. Значение зазора между уголками задается в таблице, расположенной над схемой фермы, одновременно с выбором профиля для каждого типа сечения. Выбранные с помощью маркера элементы одного типа выделяются на схеме красным цветом, а в поле выбора отображается их сечение.

Необходимо заметить, что в нормах проектирования проверки несущей способности стержневых элементов стальных конструкций сформулированы в зависимости от внутренних усилий и геометрических

характеристик, отнесенных к главным осям инерции сечения. Так, в режиме **Фермы** проверки устойчивости элементов фермы при центральном сжатии выполняются в зависимости от геометрических характеристик сечения (в частности, в зависимости от моментов инерции и радиусов инерции) относительно главных осей инерции.

Для большинства типов сечений, реализованных в режиме **Фермы** (см. рис. 4.10.1-3), одна из главных осей инерции сечения лежит в плоскости конструкции фермы, а другая – в плоскости, перпендикулярной плоскости фермы. Таким образом, выпучивание элемента фермы, потерявшего устойчивость при центральном сжатии, может происходить либо в плоскости фермы, либо из плоскости фермы. Соответственно проверки устойчивости элемента фермы при центральном сжатии соотнесены к плоскости фермы, а именно вычисляются факторы **Устойчивость в плоскости фермы** и **Устойчивость из плоскости фермы**. Единственное исключение составляет составное сечение из двух равнополочных уголков, составленных в крест, главные оси инерции которого не лежат ни в плоскости конструкции фермы, ни в плоскости, перпендикулярной плоскости фермы. Выпучивание элемента фермы из двух уголков, составленных в крест, при потере его устойчивости не соотносится с плоскостью конструкции фермы. Тем не менее с целью унификации названия факторов **Устойчивость в плоскости фермы** и **Устойчивость из плоскости фермы** для этого типа сечения приняты как для остальных типов сечений.

На странице **Параметры** (рис. 4.10.1-4) имеется возможность задать предельно допустимое значение прогиба фермы (от действия нормативных и/или нормативных длительных нагрузок) в долях от величины пролета (оно будет сопоставлено с относительным прогибом от действия нагрузок с расчетными значениями, которые соответствуют второй группе предельных состояний). Предусмотрена возможность задания прогиба фермы в форме доли пролета (величина $1/A$), где A есть набор наиболее часто употребляемых величин (500, 750 и т.п.).

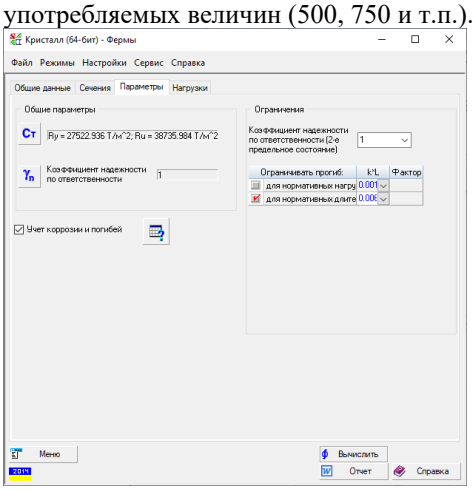


Рис. 4.10.1-4. *Страница* **Параметры** *режима* **Фермы**

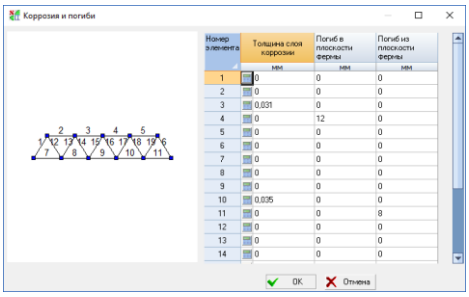


Рис. 4.10.1-5. *Диалоговое окно* **Коррозия и погиби**

Маркер **Погтеря устойчивости стенки не допускается** служит для выполнения проверочного расчета сечения с учетом его закритической работы (после потери местной устойчивости стенки). Отмеченный маркер позволяет пользователю отказаться от закритической работы сечения в случае, если по результатам проверки происходит потеря местной устойчивости стенки.

В этом режиме предусмотрена также возможность выполнять проверочные расчеты с учетом коррозии. Кроме того, для ферм, элементы которых выполнены из парных уголков, можно для каждого элемента задать не только информацию о коррозии, но и величины погибей. Для этого следует активировать маркер **Учет коррозии и погибей** и нажать кнопку , которая открывает доступ к диалоговому окну (см. рис. 4.10.1-5). В этом окне вводится информация о повреждениях конструкции (после ввода информации кнопка меняет свой вид и выглядит следующим образом:).

В таблице задаются данные о толщине слоя коррозии для каждого элемента фермы (номера элементов приводятся на схеме) и величине стрелки погиби в плоскости и из плоскости фермы. Кроме того, в каждой строке таблицы имеется кнопка , которая активизирует операцию вычисления толщины слоя коррозии (рис. 4.10.1-5). Отметим, что угол наклона элемента к горизонту задавать не нужно, поскольку для элементов фермы эта информация определяется автоматически.

Если в окне **Толщина слоя коррозии** активировать маркер **Использовать результаты для всех элементов нижнего (верхнего, ...) пояса**, то результат расчета будет внесен не только в текущую строку таблицы, но и во все строки, которые соответствуют элементам всей группы. Прогноз толщины слоя коррозии производится по рекомендациям [2], [3], [4]. При выполнении расчетов предполагается, что толщина слоя коррозии одинакова по всему периметру сечения.

Анализ работы поврежденной конструкции будет производиться в соответствии с рекомендациями пособия [7]. Расчет учитывает возможность пространственной формы выпучивания стержня с погибью, поэтому в числе факторов, которые выдаются по результатам расчета, могут отсутствовать результаты проверок устойчивости в плоскости фермы или из плоскости фермы, или обе эти проверки вместе.

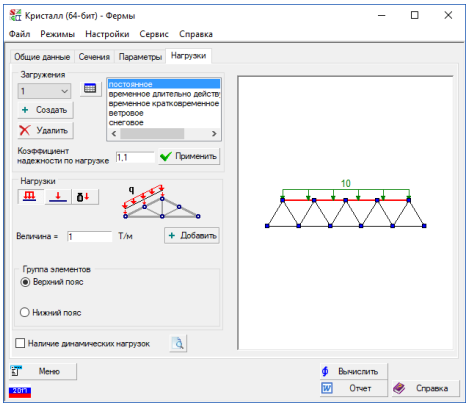


Рис. 4.10.1-6. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Фермы**

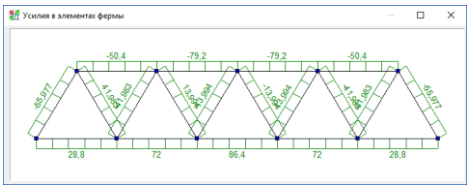


Рис. 4.10.1-7. *Информационное окно* **Усилия в элементах фермы**

Страница **Нагрузки** (рис. 4.10.1-6) во многом напоминает ту, которая описана в режиме **Огибающие** (см. раздел 4.8.1), однако здесь имеются и свои особенности. Пользователю предоставляется возможность задать равномерно распределенную нагрузку или сосредоточенную нагрузку в узлах. Равномерно распределенная нагрузка задается или на весь пояс (верхний или нижний), или на его половину. При этом, место приложения равномерно распределенной нагрузки нагрузки определяется соответствующими кнопками выбора в группе **Группа элементов**. Номер узла, где прикладывается сосредоточенная нагрузка, выбирается в выпадающем списке **Номер узла**.

Для графического контроля введенных данных предназначено специальное окно, расположенное на странице **Нагрузки** справа, где отображается условная схема фермы. При нажатии на кнопку выбора пояса, к которому прикладывается равномерно распределенная нагрузка, соответствующий пояс в этом окне выделяется красным цветом, а при выборе номера узла, к которому прикладывается сосредоточенная нагрузка, соответствующий узел выделяется красным цветом.

После нажатия кнопки **Добавить** в окне отображения появляется схема соответствующего нагружения со всеми введенными нагрузками.

Откорректировать значения конкретных нагрузок можно в таблице, которая вызывается кнопкой (см. раздел 4.8.1).

По нажатию кнопки **Усилия в элементах фермы для текущего загружения** открывается одноименное информационное окно, в котором показана расчетная схема фермы с эпюрой усилий (рис. 4.10.1-7).

В программе Кристалл (в отличие от SCAD) принято, что на ферму действует узловая нагрузка. Таким образом, заданная распределенная нагрузка не передается непосредственно на элементы фермы, а считается приложенной к некоторой ограждающей конструкции кровли, которая и выполняет функцию приведения нагрузки к узлам.

Как правило, на верхний пояс фермы действует распределенная нагрузка, это обстоятельство учитывается при расчете фермы в программе SCAD, при этом для наклонных элементов продольная сила меняется по его длине. Программа SCAD выводит значения максимального усилия по длине элемента. В Кристалле при приведении распределенной нагрузки к узлам выводится значение, которое соответствует значению усилия в середине конечного элемента программы SCAD. Это приводит к различию представляемых результатов.

Имеется возможность указать наличие или отсутствие динамических нагрузок на ферме. Если все нагрузки являются статическими, то проверка гибкости растянутых элементов выполняется только в вертикальной плоскости.

Нажатие кнопки **Вычислить** приводит к появлению значения K_{max} и указанию типа проверки (прочность, устойчивость, гибкость), при которой этот максимум реализовался. Используя кнопку **Факторы**, можно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования ограничений.

Кнопка **Подбор** позволяет перейти в режим целенаправленного перебора поперечных сечений элементов фермы с заменой номеров выбранных пользователем профилей (тип поперечного сечения и условия раскрепления не меняются). Программа переходит к следующему большему по площади номеру профиля в каталоге, из которого были первоначально выбраны поперечные сечения, если при проверках рассматриваемого элемента (например, верхнего пояса) было обнаружено значение коэффициента использования ограничений $K > 1$ или к следующему меньшему по площади номеру профиля, если $K < 1$. Такие переходы осуществляются до тех пор, пока по всем проверкам не будет выполнено условие $K < 1$, а замена профиля ближайшим меньшим даст $K > 1$, т. е. будет найден наименьший из удовлетворяющих требованиям норм профиль.

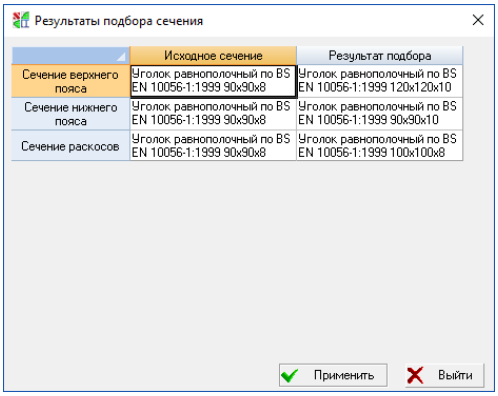


Рис. 4.10.1-8. *Диалоговое окно* **Результаты подбора сечения**

Перебор по различным группам элементов фермы (верхнему и нижнему поясам, раскосам, стойкам) реализуется независимо.

После завершения подбора на экране появляется окно с рекомендациями по выбору поперечных сечений (рис. 4.10.1-8).

Пользователь может отвергнуть эти рекомендации (кнопка **Выйти**) или согласиться с ними. В последнем случае нажимается кнопка **Применить**, и все рекомендованные сечения будут переданы для выполнения проверочного расчета новой конструкции.

Если в процессе подбора было испробовано максимальное сечение из сортамента и при этом значение $K > 1$, то в окне появляется соответствующее сообщение, и кнопка **Применить** блокируется.

Отметим, что ограничение по прогибу на результатах подбора не сказывается.

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с опорными реакциями, общий вес фермы и площадь окраски.

4.10.2 Элемент фермы

Описанный выше режим **Фермы** предоставляет наиболее употребительный, но далеко не полный набор ферменных конструкций. Для анализа элементов произвольной фермы в программе предусмотрен специальный режим **Элемент фермы**, с помощью которого можно проанализировать несущую способность или подобрать сечение элемента фермы (предполагается, что задача статики решена ранее и усилия в элементе известны).

В режиме **Элемент фермы** выполняются следующие проверки:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-23-81***	**Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002**	**Ссылка на СП 53-102-2004**	**Ссылка на СП 16.13330**	**Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010**	**Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Прочность	п. 5.1	п. 5.1	п. 8.1.1	п. 7.1.1	п. 1.4.1.1	п. 8.1.1	п. 7.1
Устойчивость в плоскости фермы	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость в плоскости фермы (закритическая работа)	пп. 5.3, 7.20*	пп. 5.3, 7.30	пп. 8.1.3, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.3.5	пп. 7.3, 9.20
Устойчивость из плоскости фермы	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость из плоскости фермы (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	пп. 5.3, 7.30	пп. 8.1.3, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.3.5	пп. 7.3, 9.20
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1, 7.2*, п. 7.14, табл. 27*	пп. 7.1, 7.2, 7.23	пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10	пп. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11	пп. 1.4.3.1, 1.4.3.2, табл. 1.4.3	пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8.3	пп. 9.1, 9.2, 9.3, пп. 9.15
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.27*	пп. 7.32, 7.33, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4	п. 8.3.7, табл. 8.4	пп. 9.22, 9.23, 9.27
Тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 8.6	п. 8.6	п. 12.2.2	п. 11.2.2	п. 1.10.2.2	п. 14.2.2	п. 10.6
Местная устойчивость стенки трубы из расчета замкнутой круговой цилиндрической оболочки	пп. 8.5-8.13	пп. 8.5-8.13	пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 11.2.1-11.2.9	пп. 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.2.1-14.2.9	пп. 10.5-10.13
Устойчивость искривленного элемента							

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Гибкость	пп. 6.1-6.4, 6.16	пп. 6.1-6.4, 6.15	пп. 11.1.1-11.1.4, 11.4.1	пп. 10.1.1-10.1.4, 10.4.1	пп. 1.9.1.1-1.9.1.4, 1.9.4.1	пп. 13.1.1-13.1.4, 13.4.1	пп. 8.1-8.4, 8.18

Ограничения реализации

При подборе и проверке элементов ферм приняты следующие значения коэффициента условий работы γ_c:

- 0,95 — поясов, опорных раскосов, растянутых элементов решетки, сжатых элементов решетки крестового сечения;
- 0,8 — сжатых элементов решетки таврового сечения при гибкости их более 60.

По умолчанию расчет элементов фермы производится на действие продольных сил. Специальный маркер позволяет также учесть действие изгибающих моментов и поперечных сил. В этом случае расчет аналогичен расчету в режиме **Сопротивление сечений**, но расчетные длины и предельные гибкости выбираются автоматически в соответствии с рекомендациями норм для элементов ферм.

Поскольку требование норм относительно ограничения гибкости растянутого элемента связано с ограничением его провисания от собственного веса, то проверка гибкости растянутых элементов регламентирована только в вертикальной плоскости (например, согласно примечанию 1 к табл. 33 СП 16.13330).

В режиме **Элемент фермы** предполагается, что вертикальной является именно плоскость фермы. Гибкость растянутых элементов фермы из плоскости фермы не проверяется. Соответственно, раскрепление нижнего (растянутого) пояса из плоскости фермы не влияет на результат проверки его гибкости.

В том случае, если пользователю необходимо выполнить проверку гибкости растянутых элементов из плоскости фермы (для горизонтальных ферм, или для ферм, расположенных под углом к горизонту), можно воспользоваться режимом **Сопротивление сечений**. При проверочном расчете растянутого элемента в режиме **Сопротивление сечений** проверке подлежат обе его гибкости, поскольку само понятие вертикальной плоскости в данном режиме отсутствует.

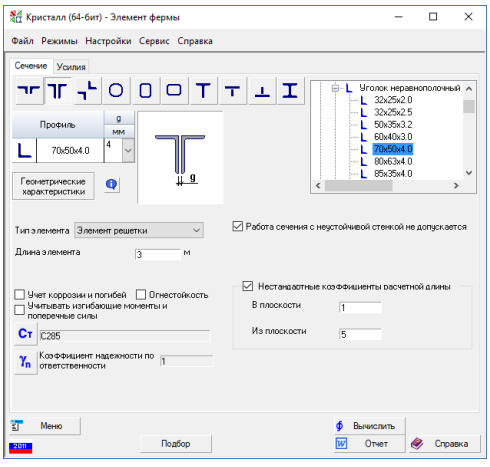


Рис. 4.10.2-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Элемент фермы**

На странице **Сечение** (рис. 4.10.2-1) назначается поперечное сечение элемента фермы. Сечения компонуются из парных равнополочных или неравнополочных уголков, располагаемых в форме тавра (последние — в двух вариантах), креста из равнополочных уголков, а также из труб круглого и прямоугольного сечений. При выборе сечений используется база данных прокатных профилей и вводится значение зазора между уголками. Кроме того, задаются тип элемента и его длина. В случае, когда рассматривается элемент пояса, требуется задать длину панели и расстояние между точками раскрепления из плоскости. Предусмотрен расчет элементов следующих типов: элемент пояса, элемент решетки, опорный раскос, опорная стойка.

Маркер **Потеря устойчивости стенки не допускается** служит для выполнения проверочного расчета сечения с учетом его закритической работы (после потери местной устойчивости стенки). Отмеченный маркер позволяет

пользователю отказаться от закритической работы сечения в случае, если по результатам проверки происходит потеря местной устойчивости стенки.

Если элемент фермы имеет дополнительные раскрепления или ослабления, используя маркер **Коэффициенты расчетной длины отличаются от рекомендаций СНиП**, можно ввести нестандартные коэффициенты расчетной длины в плоскости и из плоскости фермы.

На странице **Усилия** (рис. 4.10.2-2) задаются внутренние усилия, действующие в элементе фермы при различных загружениях. В том случае, если на странице **Сечение** (рис. 4.10.2-1) пользователем отмечен маркер **Учитывать изгибающие моменты и поперечные силы**, пользователю будет обеспечена возможность задать не только продольные силы, но и изгибающие моменты и соответствующие им поперечные силы (например, для элементов неразрезных поясов ферм). Кроме того, имеется возможность указать наличие или отсутствие динамических нагрузок или нагрузок от кранов на ферме. Если все нагрузки являются статическими, то проверка гибкости растянутых элементов выполняется только в вертикальной плоскости.

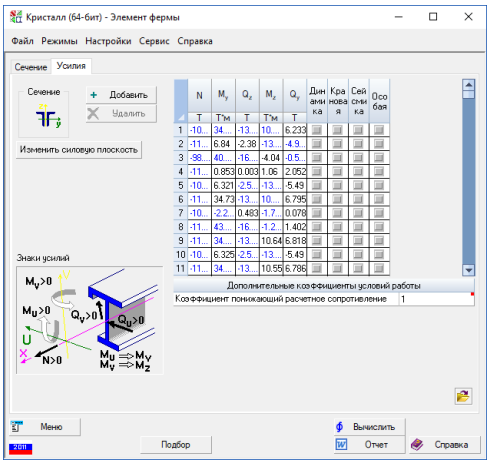


Рис. 4.10.2-2. *Страница* **Усилия** *режима* **Элемент фермы**

Необходимо заметить, что в нормах проектирования проверки несущей способности стержневых элементов стальных конструкций сформулированы в зависимости от внутренних усилий и геометрических характеристик, отнесенных к главным осям инерции сечения. Так, в режиме **Элемент фермы** проверки устойчивости элементов фермы при центральном сжатии выполняются в зависимости от геометрических характеристик сечения (в частности, в зависимости от моментов инерции и радиусов инерции) относительно главных осей инерции.

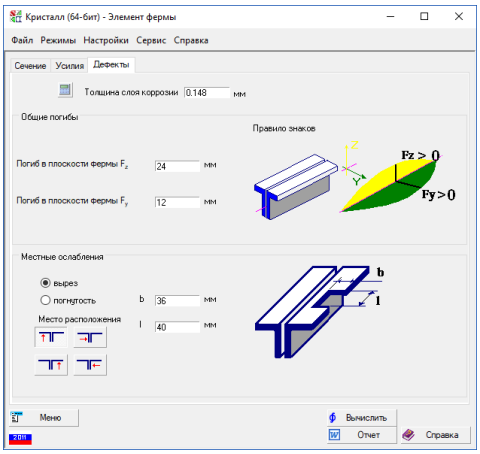


Рис. 4.10.2-3. *Страница* **Дефекты** *режима* **Элемент фермы**

Для большинства типов сечений, реализованных в режиме **Элемент фермы** (см. рис. 4.10.2-1), одна из главных осей инерции сечения лежит в плоскости конструкции фермы, а другая – в плоскости, перпендикулярной плоскости фермы. Таким образом, выпучивание элемента фермы, потерявшего устойчивость при центральном сжатии, может происходить либо в плоскости фермы, либо из плоскости фермы. Соответственно проверки устойчивости элемента фермы при центральном сжатии соотнесены к плоскости фермы, а именно вычисляются факторы **Устойчивость в плоскости фермы** и **Устойчивость из плоскости фермы**. Единственное исключение составляет составное сечение из двух равнополочных уголков, составленных в крест, главные оси инерции которого не лежат ни в плоскости конструкции фермы, ни в плоскости, перпендикулярной плоскости фермы. Выпучивание элемента фермы из двух уголков, составленных в крест, при потере его устойчивости не соотносится с плоскостью конструкции фермы. Тем не менее с целью унификации названия факторов **Устойчивость в плоскости фермы** и **Устойчивость из плоскости фермы** для этого типа сечения приняты как для остальных типов сечений.

В режиме **Элемент фермы** также предусмотрена возможность выполнять проверочные расчеты элементов фермы с учетом коррозии. Кроме того, для элементов из парных уголков можно задать величины погибей, а в случае использования равнополочных уголков анализировать и местные дефекты (вырезы и

погиби). Для этого на странице **Сечение** следует активировать маркер **Учет коррозии и погибей**. При этом появится дополнительная страница **Дефекты** (рис. 4.10.2-3), на которой следует задать данные о толщине слоя коррозии, величине стрелки погиби в плоскости и из плоскости фермы, данные о местных вырезах или погибях.

Воспользовавшись кнопкой , можно активизировать операцию вычисления толщины слоя коррозии (рис. 4.10.2-2).Анализ работы поврежденной конструкции будет производиться в соответствии с рекомендациями СНиП 2.08.01-85 и пособия [7]. Расчет учитывает возможность пространственной формы выпучивания стержня с погибью, поэтому в числе факторов, которые выдаются по результатам расчета, могут отсутствовать результаты проверок устойчивости в плоскости фермы или из плоскости фермы, или обе эти проверки вместе.

Нажатие кнопки **Вычислить** приводит к появлению значения K_{max} и указанию типа проверки (прочность, устойчивость, гибкость), при которой этот максимум реализовался. Используя кнопку **Факторы**, можно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования ограничений.

Подбор выполняется по тем же правилам, что и в режиме **Фермы**.

4.10.3 Балки

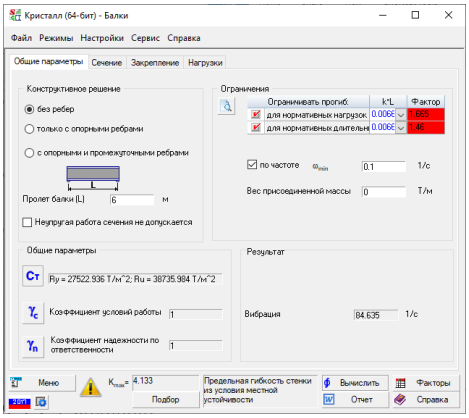


Рис. 4.10.3-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Балки**

С помощью этого многостраничного окна реализуется проверка балки из прокатных двутавров, швеллеров, квадратных и прямоугольных труб, а также из сварных двутавров и сварной коробки. Окно включает пять страниц: **Общие параметры**, **Сечение**, **Закрепление**, **Нагрузки**, **Ребра жесткости**.

Для балок выполняются следующие проверки:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-23-81***	**Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002**	**Ссылка на СП 53-102-2004**	**Ссылка на СП 16.13330**	**Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010**	**Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Устойчивость опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 1.5.5.13	п. 9.5.13	п. 9.13
Смятие опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 1.5.5.13	п. 9.5.13	п. 9.13
Прочность поясного шва	п. 11.5	п. 11.5	п. 15.1.19	п. 14.1.19	п. 1.12.1.19	п. 16.1.19	п. 13.5
Прочность шва опорного ребра	п. 11.5	п. 11.5	п. 15.1.19	п. 14.1.19	п. 1.12.1.19	п. 16.1.19	п. 13.5
Прочность при действии поперечной силы	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность при действии изгибающего момента	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии изгибающего момента с учетом пластики	п. 5.18*	п. 5.18	п. 9.2.3	п. 8.2.3	п. 1.5.2.3	п. 9.2.3	п. 7.18
Устойчивость плоской формы изгиба при действии момента	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15
Устойчивость плоской формы изгиба с учетом пластики			п. 9.4.6	п. 8.4.6	п. 1.5.4.6	п. 9.4.6	
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10	пп. 9.5.1 –9.5.9	пп. 8.5.1–8.5.9	пп. 1.5.5.1–1.5.5.9	пп. 9.5.1–9.5.9	пп. 9.1 – 9.6; пп. 9.10, 9.11
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.24, табл. 30	п. 7.34	п. 9.5.14	п. 8.5.18	п. 1.5.5.14	п. 9.5.14	п. 9.24
Соотношение высоты стенки балки к ее толщине	п. 7.4*	п. 7.4	п. 9.5.3	п. 8.5.3	п. 1.5.5.3	п. 9.5.3	п. 9.5
Прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы	п. 5.14*	п. 5.14	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.14
Прочность по местным напряжениям от действия сосредоточенной силы	п. 5.13	п. 5.13	п. 9.2.2	п. 8.2.2	п.1.5.2.2	п. 9.2.2	п. 7.13
Прогиб балки							

Если наибольшие нормальные напряжения в сечении балки превышают расчетное сопротивление стали, проверка местной устойчивости стенок и полок балки выполняется с учетом развития пластических деформаций.

В том случае, когда гибкость стенки элемента такова, что элемент классифицируется как элемент с гибкой стенкой, выводится фактор *Соотношение высоты стенки к ее толщине* со значением, превышающим 1,0. Расчет элементов с гибкой стенкой в программе не реализован ввиду крайне

ограниченной области применения методики расчета таких конструкций (только для разрезных балок, несущих статическую нагрузку).

Ограничения реализации

Не выполняется расчет сварных швов, прикрепляющих ребра жесткости, и не проверяются минимальные размеры сварных швов по таблице 38* СНиП II-23-81* (таблице 35 СП 53-102-2004, таблице 38 СП 16.13330, таблице 1.12.1 ДБН В.2.6-163:2010, таблице 16.1 ДБН В.2.6-198:2014).

Реализованная в СНиП «Стальные конструкции» методика проверки балок на устойчивость (проверка устойчивости плоской формы изгиба) требует знания вида нагрузки и места ее приложения (верхний или нижний пояс). При этом нормы дают рекомендации только для нескольких частных случаев, причем случаев «чистых», когда все нагрузки приложены только к одному поясу. Что делать в тех случаях, когда имеются различные варианты нагружения и, более того, изгибающие моменты взяты из огибающей, а не из одного конкретного загружения, остается неясным. Поэтому разработчики программы (ориентированной на рассмотрение общего случая нагружения) при вычислении коэффициента ψ **в запас надежности** приняли, что рассматривается случай распределенной нагрузки, не анализируя частных случаев из представленных в таблице 77 СНиП II-23-81* (все дальнейшие модификации норм в этот вопрос изменения не внесли). Однако, используя кнопку можно активировать специальный диалог, в котором пользователь может выбрать одно из предусмотренных нормами правило вычисления данного коэффициента (при этом ответственность за последствия такого выбора несет пользователь) или с помощью кнопки **По умолчанию** вернуться к стандартному (описанному выше) поведению программы.

На странице **Общие параметры** (рис. 4.10.3-1) задается пролет балки. Кроме того, группа **Конструктивное решение** содержит маркеры для указания предполагаемой системы ребер жесткости:

- без ребер;
- только с опорными ребрами;
- с опорными и промежуточными ребрами.

Если выбрана конструкция с промежуточными ребрами, то в соответствующем окне необходимо указать их шаг. Он не обязательно должен быть кратен пролету балки, регулировка выполняется за счет крайних отсеков.

После активации соответствующих маркеров в группе **Ограничения** могут быть заданы ограничения по абсолютному значению прогиба (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок) или по частоте собственных колебаний. В последнем случае имеется возможность указать значение присоединенной массы, которая будет просуммирована с собственной массой конструкции. Предельно допустимое значение прогиба балки задается в долях от величины пролета (оно будет сопоставлено с относительным прогибом от действия нагрузок с расчетными значениями, соответствующими второй группе предельных состояний). Предусмотрена возможность задания прогиба балки в форме доли пролета (величина $1/A$), где A есть набор наиболее часто употребляемых величин (500, 750 и т.п.).

Отметим, что для прогиба в программе **КРИСТАЛЛ** не введен специальный фактор – программа только вычисляет и выводит величину максимального прогиба.

В тех случаях, когда пользователь по каким-то иным причинам не желает выйти за пределы упругой работы, на закладке предусмотрен маркер **Неупругая работа сечения не допускается**.

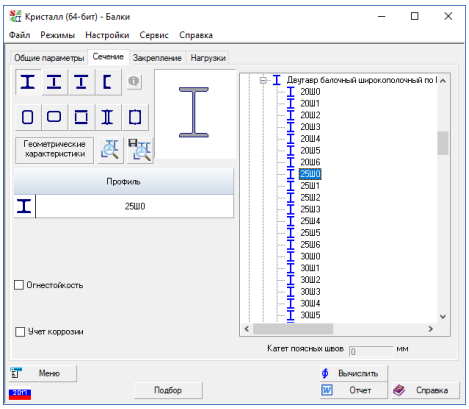


Рис. 4.10.3-2. *Страница* **Сечение** *режима* **Балки**

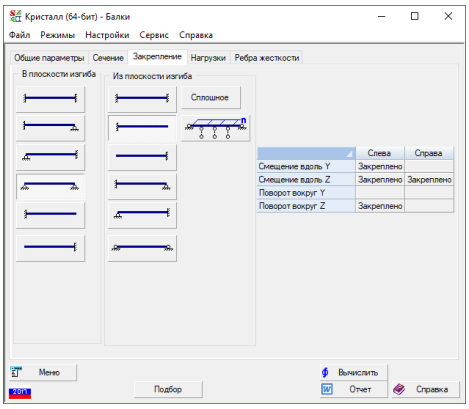


Рис. 4.10.3-3. *Страница* **Закрепления** *режима* **Балки**

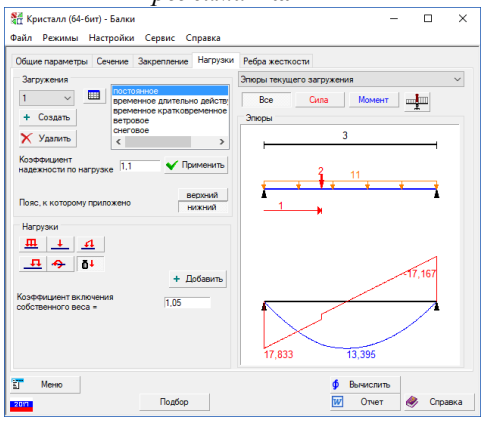


Рис. 4.10.3-4. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Балки**

На странице **Сечение** (рис. 4.10.3-2) назначается поперечное сечение балки.

Если задано сечение из прокатного двутавра или швеллера, то выбор профиля осуществляется из каталогов. Если поперечное сечение балки — сварной двутавр, то необходимо задать размеры составляющих его листов. При этом толщины листов могут быть взяты как из предлагаемого списка (соответствуют имеющимся в сортаменте), так и заданы пользователем.

На этой же странице имеется поле для задания катета поясных швов, которое раскрывается в случае выбора сварного двутавра.

Так же, как и в режиме **Сопротивление сечений**, имеется возможность произвести расчет с учетом коррозии. Отличие состоит в том, что при использовании встроенной программы прогноза коррозии (которая активизируется кнопкой) не нужно задавать угол наклона элемента к горизонту. Страница **Закрепление** (рис. 4.10.3-3) содержит две группы кнопок, с помощью которых указывается система закреплений балки в плоскости изгиба и из плоскости изгиба. Выбор внутри каждой группы осуществляется независимо нажатием кнопки с соответствующей схемой. Если при задании условий закрепления из плоскости изгиба назначен последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

С помощью таблицы отображения выбранной системы связей осуществляется контроль введенных исходных данных.

На странице **Нагрузки** (рис. 4.10.3-4) задаются нагрузки, действующие на балку. Эта страница почти точно повторяет аналогичную страницу из раздела 4.8.1, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте (верхний или нижний пояс), которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения. Кроме того, для «сосредоточенной силы» необходимо указать ширину зоны ее приложения. Отметим, что если курсор мыши находится в окне отображения эпюры, то при нажатой правой клавише мыши на экран выводится сечение балки, в котором в зависимости от установленных параметров выводятся изополя нормальных и касательных напряжений, соответствующие сечению, определяемому положением курсора (рис. 4.10.3-5).

На странице **Ребра жесткости** (рис. 4.10.3-6), которая появляется, если выбрано соответствующее конструктивное решение, задаются размеры опорного ребра и катета шва, которым это ребро приваривается к стенке балки. При выборе конструктивного решения балки с опорными и промежуточными ребрами в поле **Шаг ребер** необходимо

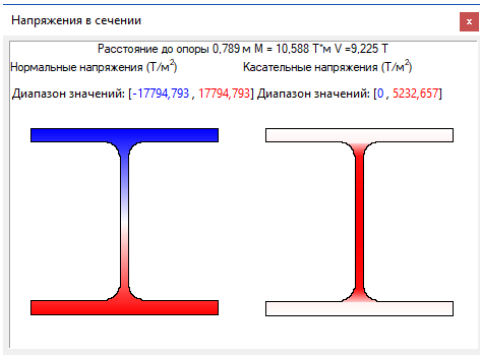


Рис. 4.10.3-5. *Нормальные и касательные напряжения в сечении*

задать шаг промежуточных ребер жесткости, определить их тип, а также в соответствующих полях задать их ширину и толщину.

Тип промежуточных ребер (односторонние или двухсторонние) выбирается с помощью кнопок с изображением схемы ребер. Задаваемые в миллиметрах размеры ребер проверяются на соответствие требованиям норм по ширине и толщине выступающей части. Принято, что ширина опорного ребра не должна быть меньше ширины наиболее узкой полки двутавра.

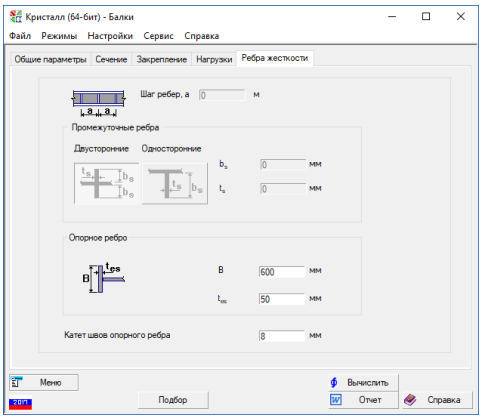


Рис. 4.10.3-6. *Страница* **Ребра жесткости** *режима* **Балки**

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя — только для балок из прокатных профилей) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить целенаправленный перебор поперечных сечений. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.1.

Необходимо отметить, что подбор сечений будет выполняться только по условиям прочности и устойчивости, если на странице **Общие параметры** не задано ограничение по прогибу. Ограничение по частоте собственных колебаний на результатах подбора не сказывается.

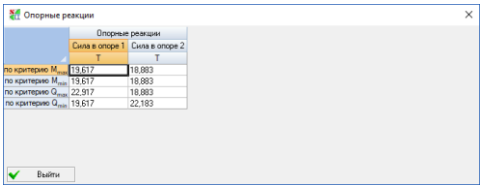


Рис. 4.10.3-7. *Диалоговое окно* **Опорные реакции**

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 4.10.3-7), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

4.10.4 Sin-балки

С помощью расчетного режима **Sin-Балки** реализуется проверка несущей способности балки, сечение которой принято из сварного двутавра с гофрированной стенкой. Главное окно режима содержит такие страницы: **Общие параметры** (рис. 4.10.4-1), **Сечение** (рис. 4.10.4-2), **Закрепление** (рис. 4.10.4-3), **Нагрузки** (рис. 4.10.4-4).

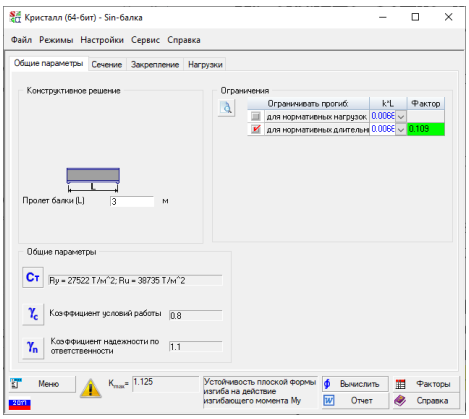


Рис. 4.10.4-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Sin-Балки**

На странице **Общие параметры** (рис. 4.10.4-1) в группе **Конструктивное решение** задается пролет для однопролетной балки сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой. В группе **Общие параметры** предусмотрены кнопки доступа к информационным режимам **Сталь** — Ст, **Коэффициенты условий работы** — γ_c и **Коэффициенты надежности по ответственности** — γ_n. Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам.

После активации маркера **по прогибу**, расположенного в группе **Ограничения**, можно задать ограничения по абсолютному значению прогиба балки (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок). Предельно допустимое значение прогиба балки задается в долях от величины пролета (оно будет сопоставлено с относительным прогибом от действия нагрузок с расчетными значениями, соответствующими второй группе предельных состояний). Предусмотрена возможность задания прогиба балки в форме доли пролета (величина $1/A$), где A есть набор наиболее часто употребляемых величин (500, 750 и т.п.). Отметим, что для прогиба в расчетном режиме **Sin-балки** не введен специальный фактор – программа только вычисляет и выводит величину максимального прогиба.

Для Sin-балок выполняются следующие проверки несущей способности:

Проверка	Ссылка на СП 294.1325800.2017	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014
Прочность на действие изгибающего момента M_y	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие поперечной силы Q_z	п. 20.6.3.1	п. 24.3.1
Прочность на действие изгибающего момента M_y и поперечной силы Q_z	п. 20.6.3.3	п. 24.3.3
Устойчивость плоской формы изгиба на действие изгибающего момента M_y	п. 20.6.3.4	п. 24.3.4
Местная устойчивость гофрированной стенки при изгибе	п. 20.6.3.6	п. 24.3.6
Общая устойчивость гофрированной стенки при изгибе	п. 20.6.3.6	п. 24.3.6
Местная устойчивость свеса пояса балки с гофрированной стенкой при изгибе	п. 20.6.3.12	п. 24.3.12
Прочность гофрированной стенки на действие поперечной силы	п. 20.6.4.5	п. 24.4.7
Местная устойчивость свеса пояса элемента конструкции с гофрированной стенкой при сжатии	п. 20.6.4.7	п. 24.4.9
Прогиб балки		

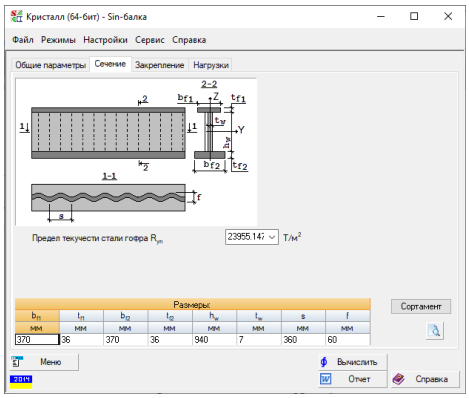


Рис. 4.10.4-2. *Страница* **Сечение** *режима* **Sin-Балки**

На странице **Сечение** (рис. 4.10.4-2) назначается поперечное сечение балки сварного двутаврового сечения с гофрированной стенкой – задаются ширина и толщина нижней и верхней полок двутавра, высота стенки, толщина гофрированной стенки, шаг и амплитуда гофра. Здесь же задается информация о форме стенки (синусоидальная или треугольная).

В программе предусмотрена возможность задать различные значения расчетного сопротивления стали для полок сварного двутавра и для его гофрированной стенки. Для этого на странице **Сечение** (рис. 4.10.4-2) содержится поле ввода **Расчетное сопротивление стали гофра R_y**.

Кнопка **Сортамент** позволяет выбрать геометрические размеры сечения из сортаментов двутавров с гофрированными стенками.

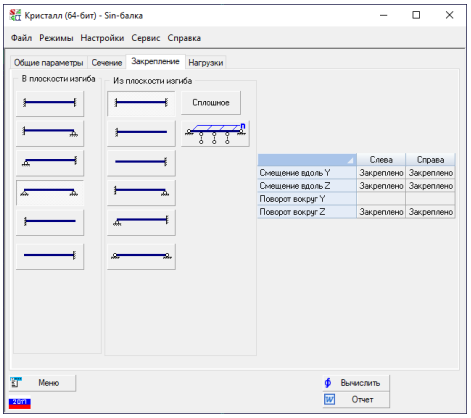


Рис. 4.10.4-3. *Страница* **Закрепления** *режима* **Sin-Балки**

Страница **Закрепление** (рис. 4.10.4-3) содержит две группы кнопок **В плоскости изгиба** и **Из плоскости изгиба**, с помощью которых указывается система закреплений балки в плоскости изгиба и система ее раскрепления из плоскости изгиба. Выбор внутри каждой группы осуществляется независимо нажатием кнопки с соответствующей схемой. Если при задании условий закрепления из плоскости изгиба назначен последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

С помощью таблицы отображения выбранной системы связей осуществляется контроль введенных исходных данных.

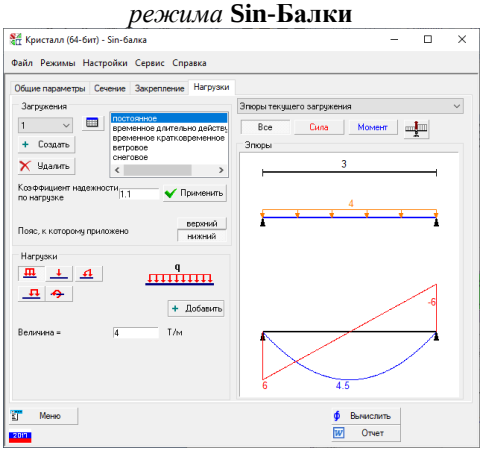


Рис. 4.10.4-4. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Sin-Балки**

На странице **Нагрузки** (рис. 4.10.4-4) задаются нагрузки, действующие на балку. Эта страница почти точно повторяет аналогичную страницу из раздела 4.8.1, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте (верхний или нижний пояс), которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения.

Расчет несущей способности балок с гофрированной стенкой выполняется после нажатия кнопки **Вычислить** (рис. 4.10.4-4). После завершения расчета появляется кнопка **Факторы**, нажатие которой вызывает окно **Диаграмма факторов**, с помощью которого можно проанализировать результаты расчета. Подробно работа в этом режиме описана в разделе 4.10.3.

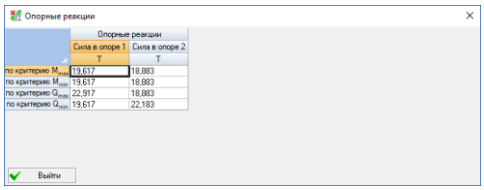


Рис. 4.10.4-5. *Диалоговое окно* **Опорные реакции** *режима* **Sin-Балки**

При нажатии кнопки **Отчет** формируется документ, в который кроме всего прочего выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 4.10.4-5), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки** (рис. 4.10.4-4).

4.10.5 Неразрезные балки

В этом режиме выполняется проверка балочной конструкции из прокатных двутавров, швеллеров, квадратных и прямоугольных труб, а также из сварных двутавров и сварной коробки. Окно (рис. 4.10.5-1) включает четыре страницы: **Общие параметры**, **Сечение**, **Нагрузки** и **Ребра жесткости**.

Для неразрезных балок выполняются следующие проверки:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-23-81***	**Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002**	**Ссылка на СП 53-102-2004**	**Ссылка на СП 16.13330**	**Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010**	**Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Устойчивость опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 1.5.5.13	п. 9.5.13	п. 9.13
Смятие опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 1.5.5.13	п. 9.5.13	п. 9.13
Прочность поясного шва	п. 11.5	п. 11.5	п. 15.1.19	п. 14.1.19	п. 1.12.1.19	п. 16.1.19	п. 13.5
Прочность шва опорного ребра	п. 11.5	п. 11.5	п. 15.1.19	п. 14.1.19	п. 1.12.1.19	п. 16.1.19	п. 13.5
Прочность при действии поперечной силы	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии изгибающего момента	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Устойчивость плоской формы изгиба при действии момента	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15
Устойчивость плоской формы изгиба с учетом пластики			п. 9.4.6	п. 8.4.6	п. 1.5.4.6	п. 9.4.6	
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10	пп. 9.5.1–9.5.9	пп. 8.5.1–8.5.9	пп. 1.5.5.1–1.5.5.9	пп. 9.5.1–9.5.9	пп. 9.1 – 9.6; пп. 9.10, 9.11
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.24, табл. 30	п. 7.34	п. 9.5.14	п. 8.5.18	п. 1.5.5.14	п. 9.5.14	п. 9.24

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Соотношение высоты стенки балки к ее толщине	п. 7.4*	п. 7.4	п. 9.5.3	п. 8.5.3	п. 1.5.5.3	п. 9.5.3	п. 9.5
Прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы	п. 5.14*	п. 5.14	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.14
Прочность по местным напряжениям от действия сосредоточенной силы	п. 5.13	п. 5.13	п. 9.2.2	п. 8.2.2	п. 1.5.2.2	п. 9.2.2	п. 7.13
Прогиб балки							

Если наибольшие нормальные напряжения в сечении балки превышают расчетное сопротивление стали, проверка местной устойчивости стенок и полок балки выполняется с учетом развития пластических деформаций.

В том случае, когда гибкость стенки элемента такова, что элемент классифицируется как элемент с гибкой стенкой, выводится фактор *Соотношение высоты стенки к ее толщине* со значением, превышающим 1,0. Расчет элементов с гибкой стенкой в программе не реализован ввиду крайне ограниченной области применения методики расчета таких конструкций (только для разрезных балок, несущих статическую нагрузку).

Ограничения реализации

Реализованная в СНиП «Стальные конструкции» методика проверки балок на устойчивость (проверка устойчивости плоской формы изгиба) требует знания вида нагрузки и места ее приложения (верхний или нижний пояс). При этом нормы дают рекомендации только для нескольких частных случаев, причем случаев «чистых», когда все нагрузки приложены только к одному поясу. Что делать в тех случаях, когда имеются различные варианты нагружения и, более того, изгибающие моменты взяты из огибающей, а не из одного конкретного загружения, остается неясным.

Поэтому разработчики программы (ориентированной на рассмотрение общего случая нагружения) при вычислении коэффициента ψ **в запас надежности** приняли, что рассматривается случай распределенной нагрузки, не анализируя частных случаев из представленных в таблице 77 СНиП II-23-81* (все дальнейшие модификации норм в этот вопрос изменения не внесли). Однако, используя кнопку можно активировать специальный диалог, в котором пользователь может выбрать одно из предусмотренных нормами правило вычисления данного коэффициента (при этом ответственность за последствия такого выбора несет пользователь) или с помощью кнопки **По умолчанию** вернуться к стандартному (описанному выше) поведению программы.

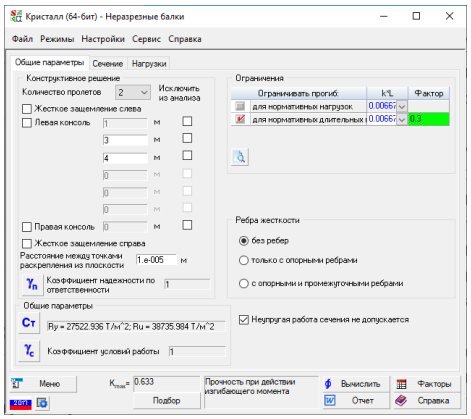


Рис. 4.10.5-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Неразрезные балки**

На странице **Общие параметры** в группе **Конструктивное решение** задается схема многопролетной балки, которая определяется количеством пролетов, их величинами и наличием или отсутствием консолей. Если задать жесткое защемление (справа и/или слева), то пропадает возможность задания соответствующей консоли. Здесь же имеется поле для задания шага раскрепления сжатого пояса балки из плоскости изгиба. Этот шаг предполагается постоянным по всей длине балки и, кроме того, предполагается, что такие закрепления имеются на всех опорах.

Для моделирования жесткого защемления на краю балки используются одноименные маркеры.

Если необходимо выполнить экспертизу или подбор балки не во всех пролетах, а только в нескольких или даже в одном, следует активировать соответствующие маркеры и исключить пролеты, которые не рассматриваются.

В группе **Ребра жесткости** содержатся маркеры для указания предполагаемой системы ребер жесткости:

- без ребер;
- только с опорными ребрами;
- с опорными и промежуточными ребрами.

В необходимых случаях может быть задано ограничение по прогибу аналогично режиму **Балки**.

В тех случаях, когда пользователь по каким-то иным причинам не желает выйти за пределы упругой работы, на закладке предусмотрен маркер **Неупругая работа сечения не допускается**.

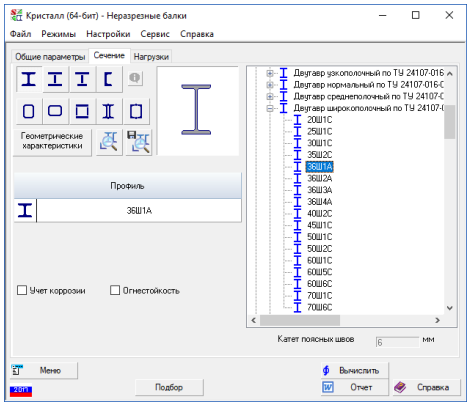


Рис. 4.10.5-2. *Страница* **Сечения** *режима* **Неразрезные балки**

Страница **Сечение** (рис. 4.10.5-2) аналогична одноименной странице режима **Балки** (см. 4.10.3).

Страница **Нагрузки** (рис. 4.10.5-3) позволяет задать нагрузки, действующие на балку. Эта страница почти точно повторяет аналогичную страницу из раздела 4.10.3, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Основное отличие состоит в том, что нагрузки задаются попролетно. Номер пролета (консоли), на котором действует задаваемая нагрузка, выбирается из выпадающего списка. Привязки сосредоточенных сил задаются от левого края пролета. Кроме того, если курсор находится в поле эпюры, то при нажатой правой клавише мыши на экран выводится сечение балки, в котором в зависимости от установленных параметров выводятся изополя нормальных или касательных напряжений, соответствующие сечению, определяемому положением курсора.

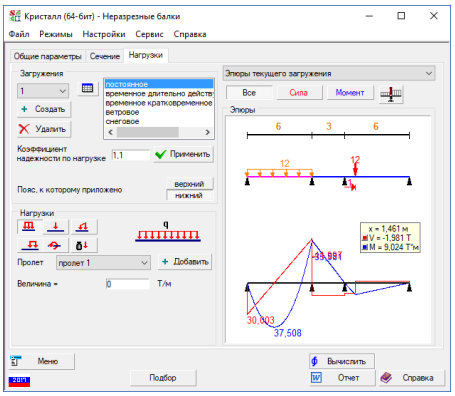


Рис. 4.10.5-3. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Неразрезные балки**

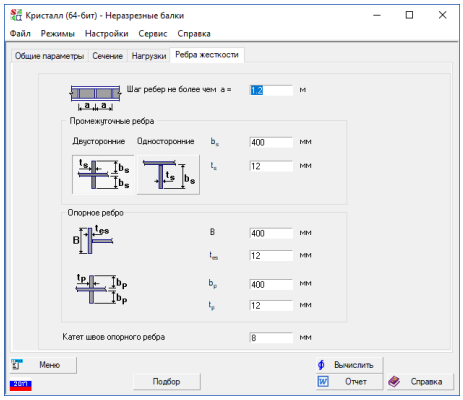


Рис. 4.10.5-4. *Страница* **Ребра жесткости** *режима* **Неразрезные балки**

Страница **Ребра жесткости** (рис. 4.10.5-4) появляется лишь в тех случаях, когда на странице **Общие параметры** выбрана конструктивная схема балки с ребрами. Вариант конструктивного решения опорных ребер открывается для ввода в зависимости от наличия промежуточных и концевых опор.

Расчет активизируется нажатием кнопки **Вычислить**. После завершения расчета появляются кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя — только для балок из прокатных двутавров), с помощью которых можно проанализировать результат расчета или выполнить целенаправленный перебор поперечных сечений. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.3.

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с опорными реакциями.

При работе с программой значения невыгодных комбинаций опорных реакций выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (см. рис. 4.10.3-7), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

4.10.6 Стойки

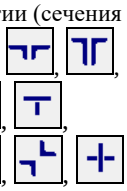
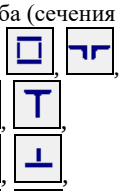
В этом режиме выполняется проверка конструкции стоек и колонн, сплошного (прокатные или сварные двутавры, круглые или прямоугольные трубы) или же сквозного поперечного сечения. Реализован весь комплекс проверок по прочности, устойчивости и гибкости в соответствии со СНиП, СП или ДБН. Предполагается, что реализуется плоская схема нагружения, хотя проверки выполняются для двух главных плоскостей.

При проверках по гибкости используются значения, заданные в режиме **Предельные гибкости**. Набор проверок определяется типом поперечного сечения элемента и комплектом действующих на него нагрузок.

Проверка	**Ссылка на СНиП II-23-81***	**Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002**	**Ссылка на СП 53-102-2004**	**Ссылка на СП 16.13330**	**Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010**	**Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Прочность при центральном сжатии/растяжении	п. 5.1	п. 5.1	п. 8.1.1	п. 7.1.1	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.1
Чрезмерные деформации растянутого волокна	п. 5.28	п. 5.28	п. 10.1.3	п. 9.1.3	п. 1.6.1.3	п. 10.1.3	п. 7.28
Прочность при действии изгибающего момента M_y	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии изгибающего момента M_z	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.12
Прочность при действии поперечной силы Q_y	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 10.1.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	пп. 7.12, 7.18
Прочность при действии поперечной силы Q_z	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 10.1.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	пп. 7.12, 7.18
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Прочность по приведенным напряжениям при одновременном действии изгибающего момента и поперечной силы	п. 5.14*	п. 5.14	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	п. 9.2.1	п. 7.14
Устойчивость при сжатии в плоскости XoY (XoU)	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость при сжатии в плоскости XoY (XoU) (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	п. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.3, 9.20
Устойчивость при сжатии в плоскости XoZ (XoV)	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость при сжатии в плоскости XoZ (XoV) (закритическая работа)	п. 5.3, 7.20*	п. 5.3, 7.30	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.1.3, 7.3.6	п. 1.4.1.3, 1.4.3.5	п. 8.1.3, 8.3.5	п. 7.3, 9.20
Устойчивость при сжатии уголка	п. 5.3	п. 5.3	п. 8.1.3	п. 7.1.3	п. 1.4.1.3	п. 8.1.3	п. 7.3
Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	п. 5.27*	п. 5.27	пп. 10.2.9, 10.2.10	пп. 9.2.9, 9.2.10	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10	пп. 10.2.9, 10.2.10	п. 7.27

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27, 7.20*	п. 5.27, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.4.6	пп. 9.2.2, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.2, 1.6.2.10, 1.6.4.5	пп. 10.2.2, 10.2.10, 10.4.5	пп. 7.27, 9.20
Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	п. 5.27*	п. 5.27*	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2	п. 7.27
Устойчивость в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27, 7.20*	п. 5.27, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.6	пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2, 9.4.6	пп. 1.6.2.8, 1.6.2.10, 1.6.3.1, 1.6.3.2, 1.6.4.5	пп. 10.2.8, 10.2.10, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.5	пп. 7.27, 9.20
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях	п. 5.34	п. 5.35	п. 10.2.9	п. 9.2.9	п. 1.6.2.9	п. 10.2.9	п. 7.34
Устойчивость при сжатии с изгибом в двух плоскостях (закритическая работа)	пп. 5.34, 7.20*	пп. 5.35, 7.30	пп. 10.2.9, 10.4.6	пп. 9.2.9, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.2.10, 1.6.4.5	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.4.5	пп. 7.34, 9.20
Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.30-5.32	пп. 5.30-5.32	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8	пп. 7.30-7.32
Устойчивость из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.30-5.32, 7.20*	пп. 5.30-5.32, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.4.5	пп. 7.30-7.32, 9.20

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (сечения типа  , не проверяются)	пп. 5.27*, 5.30-5.32	пп. 5.27, 5.30-5.32	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 7.27, 7.30-7.32
Устойчивость из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.32, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.32, 7.30	пп. 10.2.4,10.2.5,10.2.8, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.2, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.32, 9.20
Устойчивость плоской формы изгиба (сечения типа  , не проверяются)	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15
Устойчивость плоской формы изгиба с учетом пластики			п. 9.4.6	п. 8.4.6	п. 1.5.4.6	п. 9.4.6	
Гибкость стенки из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10; 7.23, 7.26, 7.27, 7.28	п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.3; п. 10.4.9	п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11; п. 8.5.1–8.5.9; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.3; п. 9.4.9	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; п. 1.6.4.5	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 10.3; п. 10.4.5	пп. 9.1 –9.7, пп. 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Гибкость свеса полки (поясного листа) из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.24, табл. 30; п. 7.27*	пп. 7.32, 7.33, 7.34, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; п. 9.5.14; п. 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; п. 8.5.18; п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.6.4.7	п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.14; п. 10.4.8, табл. 10.4; п. 10.4.7	пп. 9.22, 9.23, пп. 9.24, 9.27
Тонкостенность трубы из условия местной устойчивости	п. 8.6	п. 8.6	п. 12.2.2	п. 11.2.2	п. 1.10.2.2	п. 14.2.2	п. 10.6
Местная устойчивость стенки трубы из расчета замкнутой круговой цилиндрической оболочки	пп. 8.5-8.13	пп. 8.5-8.13	пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 11.2.1-11.2.9	пп. 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.2.1-14.2.9	пп. 10.5-10.13
Соотношение высоты стенки к ее толщине	п. 7.4*	п. 7.4	п. 9.5.3	п. 8.5.3	п. 1.5.5.3	п. 9.5.3	п. 9.5
Общая устойчивость сквозного стержня при центральном сжатии в плоскости XoY	пп. 5.3-5.6	пп. 5.3-5.6	пп. 8.1.3-8.1.5, 8.2.2	пп. 7.1.3-7.1.5, 7.2.2	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5, 1.4.2.2, 1.4.2.5	пп. 8.1.3, 8.1.5, 8.2.2, 8.2.5	пп. 7.3-7.6
Общая устойчивость сквозного стержня при центральном сжатии в плоскости XoZ	пп. 5.3-5.6	пп. 5.3-5.6	пп. 8.1.3-8.1.5, 8.2.2	пп. 7.1.3-7.1.5, 7.2.2	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5, 1.4.2.2, 1.4.2.5	пп. 8.1.3, 8.1.5, 8.2.2, 8.2.5	пп. 7.3-7.6
Устойчивость из плоскости действия момента M_z	пп. 5.27*, 5.30-5.32	пп. 5.27, 5.30-5.32	пп. 10.2.4,10.2.5,10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.2	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.1, 1.6.3.2	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.1, 10.3.2	пп. 7.27, 7.30-7.32
Гибкость стенки ветви из условия местной устойчивости	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10, 7.23, 7.26, 7.27, 7.28	п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.10; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.9	п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.11; п. 8.5.1–8.5.9; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.9	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; п. 1.6.4.5	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 9.5.1–9.5.9; п. 10.4.2, табл. 10.3; п. 10.4.5	пп. 9.1-9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Гибкость свеса полки ветви из условия местной устойчивости	п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.24, табл. 30; п. 7.27*	пп. 7.32, 7.33, 7.34, 7.37	п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; п. 9.5.14; п. 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9	п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; п. 8.5.18; п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9	п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.6.4.7	п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.14; п. 10.4.8, табл. 10.4; п. 10.4.7	пп. 9.22, 9.23, 9.24; п. 9.27
Сопротивление соединительной планки поперечной силе	пп. 5.8, 5.9, 5.36	пп. 5.8, 5.9, 5.36	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.2.7, 7.2.8, 9.3.7	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.8, 1.6.3.7	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.8, 7.9, 7.36
Сопротивление соединительной планки изгибу	пп. 5.8, 5.9, 5.36	пп. 5.8, 5.9, 5.38	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.2.7, 7.2.8, 9.3.7	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.8, 1.6.3.7	пп. 8.2.7, 8.2.8, 10.3.7	пп. 7.8, 7.9, 7.36
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_y	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	П. 9.2.1	п.7.12
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_z	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.2.1	п. 8.2.1	п. 1.5.2.1	П. 9.2.1	п.7.12
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_y	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 8.2.1, 8.2.3	пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3	пп. 9.2.1, 9.2.3	п.7.12, 7.18
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_z	пп. 5.12, 5.18*	пп. 5.12, 5.18	пп. 9.2.1, 9.2.3	пп. 8.2.1, 8.2.3	пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3	пп. 9.2.1, 9.2.3	п.7.12, 7.18
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов с учетом пластики	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность ветви при совместном действии продольной силы и изгибающих моментов без учета пластики	пп. 5.24, 5.25, 5.33	пп. 5.24, 5.25, 5.33	п. 10.1.1, 10.3.3	п. 9.1.1, 9.3.3	п. 1.6.1.1, 1.6.3.3	п. 10.1.1, 10.3.3	пп. 7.24, 7.25, 7.33
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoY	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3-1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.4	пп. 7.3, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoY (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoZ	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4	пп. 7.3, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии в плоскости XoZ (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.3.6, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.33, 5.35	пп. 10.2.9, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.9, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.9, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.2, 9.2.10, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6, 9.4.6	пп. 1.6.2.2, 1.6.2.10, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.2, 10.2.10, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35, 9.20
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.33, 5.37	пп. 10.2.9, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.9, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.9, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.9, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость ветви в плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.9, 10.2.10, 10.3.2-10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.8, 9.2.10, 9.3.2, 9.4.6, 9.3.1- 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.8, 1.6.2.10, 1.6.3.2-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.8, 10.2.10, 10.3.2-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.33, 7.35, 9.20
Изгиб ветви в двух главных плоскостях	пп. 5.24, 5.25	пп. 5.24, 5.25	п. 10.1.1	п. 9.1.1	п. 1.6.1.1	п. 10.1.1	пп. 7.24, 7.25
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_y при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.4.6, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35, 9.20
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35
Устойчивость ветви из плоскости действия момента M_z при внецентренном сжатии (закритическая работа)	пп. 5.27*, 5.30-5.33, 5.35, 7.20*	пп. 5.27, 5.30-5.33, 5.37, 7.30	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3, 10.3.4, 10.3.6, 10.4.6	пп. 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8, 9.2.10, 9.3.1, 9.3.3, 9.3.4, 9.3.6, 9.4.6	пп. 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8, 1.6.3.3-1.6.3.5, 1.6.4.5	пп. 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8, 10.3.3-10.3.5, 10.4.5	пп. 7.27, 7.30-7.33, 7.35, 9.20
Прочность ветви при растяжении	пп. 5.1, 5.6	пп. 5.1, 5.6	пп. 8.1.1, 8.2.1	пп. 7.1.1, 7.2.1	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.1	пп. 8.1.3, 8.2.1	пп. 7.1, 7.6
Устойчивость ветви при сжатии	пп. 5.3, 5.6	пп. 5.3, 5.6	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4	пп. 7.3, 7.6

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Устойчивость ветви при сжатии (закритическая работа)	пп. 5.3, 5.6, 7.20*	пп. 5.3, 5.6, 7.30	пп. 8.1.3, 8.2.3-8.2.5, 8.3.5	пп. 7.1.3, 7.2.3-7.2.5, 7.3.6	пп. 1.4.1.3, 1.4.2.3, 1.4.2.4, 1.4.3.5	пп. 8.1.3, 8.2.3, 8.2.4, 8.3.5	пп. 7.3, 7.6, 9.20
Чрезмерные деформации растянутого волокна ветви	п. 5.28	п. 5.28	п. 10.1.3	п. 9.1.3	п. 1.6.1.3	п. 10.1.3	п. 7.28
Устойчивость плоской формы изгиба ветви	п. 5.15	п. 5.15	п. 9.4.1	п. 8.4.1	п. 1.5.4.1	п. 9.4.1	п. 7.15
Прочность стоек решетки	п. 5.8*, 5.10	п. 5.8, 5.10	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.2.7, 7.2.9	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.8, 7.10
Прочность раскосов решетки	п. 5.8*, 5.10	п. 5.8, 5.10	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.2.7, 7.2.9	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9	пп. 8.2.7, 8.2.9	пп. 7.8, 7.10
Устойчивость соек решетки при сжатии	пп. 5.8*, 5.10, 5.3	пп. 5.8, 5.10, 5.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.2.7, 7.2.9, 7.1.3	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9, 1.4.1.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.3, 7.8, 7.10
Устойчивость раскосов решетки при сжатии	пп. 5.8*, 5.10, 5.3	пп. 5.8, 5.10, 5.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.2.7, 7.2.9, 7.1.3	пп. 1.4.2.7, 1.4.2.9, 1.4.1.3	пп. 8.2.7, 8.2.9, 8.1.3	пп. 7.3, 7.8, 7.10
Гибкость в плоскости XoY	пп. 6.15, 6.16	пп. 6.14, 6.15	п. 11.4.1	п. 10.4.1	п. 1.9.4.1	п. 13.4.1	п. 8.18
Гибкость в плоскости XoZ	пп. 6.15, 6.16	пп. 6.14, 6.15	п. 11.4.1	п. 10.4.1	п. 1.9.4.1	п. 13.4.1	п. 8.18

Ограничения реализации

Все нормы для сжато-изогнутых элементов рекомендуют при определении относительного эксцентриситета принимать в качестве расчетного момент в сечении, которое расположено в определенной зоне стержня. Эта зона определяется в зависимости от варианта концевых закреплений стержня, о которых программа не имеет информации. Поэтому в запас надежности используется значение момента, максимального по длине элемента.

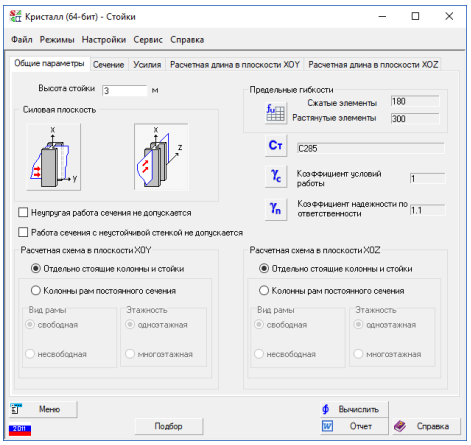


Рис. 4.10.6-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Стойки**

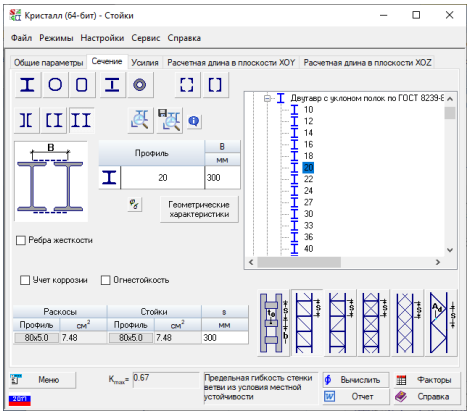


Рис. 4.10.6-2. *Страница* **Сечение** *режима* **Стойки**

Диалоговое окно режима **Стойки** включает пять страниц: **Общие параметры**, **Сечение**, **Усилия**, **Расчетная длина в плоскости XoY**, **Расчетная длина в плоскости XoZ**.

Страница **Общие параметры** (рис. 4.10.6-1) содержит поле ввода высоты стойки и две кнопки для выбора силовой плоскости (ориентации плоскости деформирования). Для рамных систем выбор силовой плоскости определяется тем, как стойка “вмонтирована” в плоскую рамную конструкцию.

На этой же странице располагаются маркеры, с помощью которых можно задать расчетную схему определения расчетной длины для каждой из главных плоскостей.

Для элементов, воспринимающих продольную силу и изгибающий момент, нормы проектирования стальных конструкций предлагают две возможные проверки на прочность:

- с учетом возможной работы в упругопластической стадии;
- при отсутствии неупругой работы.

При этом возможность работы в упругопластической стадии ограничена рядом условий, например, таких, как отсутствие непосредственного воздействия динамических нагрузок.

В случае, когда имеется непосредственное воздействие динамических нагрузок, а также в тех случаях, когда пользователь по каким-то иным причинам не желает выйти за пределы упругой работы, на закладке предусмотрен маркер **Неупругая работа сечения не допускается**.

Маркер **Потеря устойчивости стенки не допускается** служит для выполнения проверочного расчета сечения с учетом его закритической работы (после потери местной устойчивости стенки). Отмеченный маркер позволяет пользователю отказаться от закритической работы сечения в случае, если по результатам проверки происходит потеря местной устойчивости стенки.

Страница **Сечение** (рис. 4.10.6-2) позволяет выбрать поперечное сечение колонны и определить его параметры. При использовании прокатных профилей их выбор осуществляется из базы данных.

Ввод характеристик сварных сечений выполняется в соответствующих полях ввода данных о толщине и ширине листов. Для поперечных сечений с решетками используются кнопки выбора типа решетки и поля ввода соответствующих данных. При этом сечения элементов решетки выбираются из каталога равнополочных или неравнополочных уголков.

Выбор отдельных элементов сквозного поперечного сечения реализуется активацией соответствующего маркера.

Следует также задать *расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба* (именно эта величина будет использована при анализе устойчивости плоской формы изгиба).

Для тех типов поперечных сечений, для которых возможна установка поперечных ребер жесткости, можно использовать маркер **Ребра жесткости**, указав тем самым, что ребра установлены, а также задать их шаг. Если заданный пользователем шаг поперечных ребер жесткости превышает длину элемента, анализ местной устойчивости стенки элемента выполняется как для неоребренной стенки. В том случае, когда гибкость стенки элемента такова, что элемент классифицируется как элемент с гибкой стенкой, выводится фактор *Соотношение высоты стенки к ее толщине* со значением, превышающим 1,0. Расчет элементов с гибкой стенкой в программе не реализован ввиду крайне ограниченной области применения методики расчета таких конструкций (только для разрезных балок, несущих статическую нагрузку).

Так же, как и в режиме **Сопротивление сечений**, предусмотрена возможность выполнить расчет с учетом коррозии. Отличие состоит в том, что при использовании встроенной программы прогноза коррозии (которая активизируется кнопкой) не нужно задавать угол наклона элемента к горизонту.

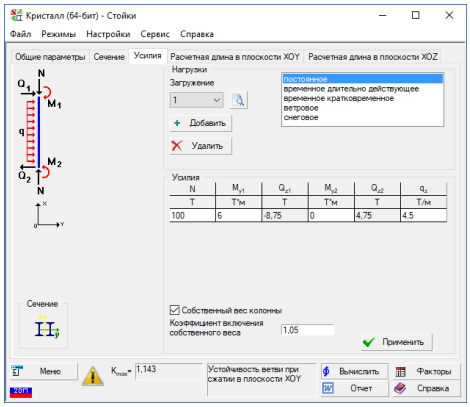


Рис. 4.10.6-3. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Стойки**

На странице **Усилия** (рис. 4.10.6-3) для каждого загружения все действующие нагрузки задаются одновременно. Для этих сил и моментов должны выполняться общие условия равновесия. В частности, поперечные силы Q_1 и Q_2, а также узловые моменты M_1 и M_2 необходимо принимать по результатам расчета системы в целом. Условия равновесия имеют вид:

$$Q_1 - Q_2 + qL = 0,$$
$$M_2 - M_1 - Q_1 L - qL^2/2 = 0.$$

Обратите внимание, что в этом режиме положительная продольная сила соответствует сжатию.

По нажатию кнопки появляется диалоговое окно **Предварительный просмотр** с эпюрами усилий N, M_y и Q_z. Нажатие кнопки **Применить** активизирует режим вычисления недостающих силовых факторов, исходя из условий равновесия.

Необходимо напомнить, что все нагрузки действуют в плоскости XoY или в плоскости XoZ (ось X ориентирована вдоль стержня). Выбор плоскости выполняется на странице **Общие параметры**.

Страницы **Расчетная длина в плоскости XoY** и **Расчетная длина в плоскости XoZ** эквивалентны представленным в разделе 4.8.4 и реализуют те же возможности, за исключением правил определения расчетных длин по рекомендациям Eurocode 3. Они позволяют задать конфигурацию колонны и необходимые параметры для вычисления расчетных длин. Эти длины определяются для фрагмента рамной системы, расположенной в силовой плоскости.

Если данные о расчетной длине в одной из плоскостей задаются в режиме информации о рамной системе, то следует иметь ввиду, что программа **Кристалл** сама вычисляет коэффициент расчетной длины на основании тех же алгоритмов, которые используются в режиме **Расчетные длины**. При этом высота

стойки и момент инерции автоматически выбираются из данных, заданных на странице **Общие параметры**. Правила выбора момента инерции действуют следующие:

		Расчетная длина в плоскости	
		XoY	XoZ
Силовая плоскость	XoY	I_z	
	XoZ		I_y

Следует помнить, что для случаев, которые в приведенной выше таблице отмечены серым цветом, нормы не предусматривают процедур определения расчетной длины (силовая плоскость должна совпадать с плоскостью рамной конструкции).

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя — только для стоек из прокатных профилей) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить режим целенаправленного перебора поперечных сечений. Работа с этими кнопками описана в разделе 4.10.1.

4.10.7 Опорные плиты

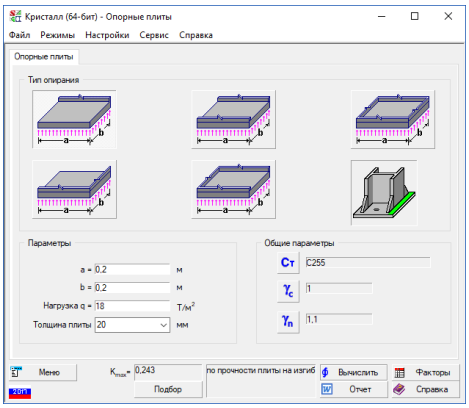


Рис. 4.10.7-1. *Окно* **Опорные плиты**

Этот режим предназначен для подбора толщины опорной плиты базы колонны. Рассматриваются части опорной плиты, на которые она разбивается торцом колонны, траверсами и ребрами.

В окне представлено пять возможных расчетных схем пластин, опертых по одной, двум, трем и четырем сторонам (кантам). После выбора варианта расчетной схемы задаются размеры сторон и нагрузка от отпора фундамента.

В режиме **Подбор** (рис. 4.10.7-1) после нажатия кнопки **Вычислить** будет получена рекомендуемая толщина плиты, а в режиме **Проверка** эту толщину следует задать и будет получено значение K_{max}. Смену режимов **Подбор** и **Проверка** можно использовать для детального анализа.

4.10.8 Листовые конструкции

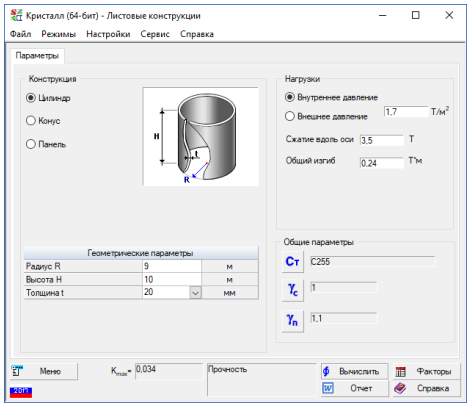


Рис. 4.10.8-1. *Окно* **Листовые конструкции**

В этом режиме определяются коэффициенты использования ограничений по прочности и устойчивости листовых конструкций одного из трех видов — круговых цилиндрических или конических оболочек, а также цилиндрических панелей.

Вид конструкции назначается путем активации соответствующего маркера в группе **Конструкция**. В качестве исходных данных задаются геометрические параметры и величины нагрузок (рис. 4.10.8-1). Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить.**

Список проверок несущей способности листовых конструкций

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность	пп. 8.1-8.3	пп. 8.1-8.3	пп. 12.1.1-12.1.3	пп. 11.1.1-11.1.3	пп. 1.10.1.1-1.10.1.3	пп. 14.1.1-14.1.3	пп. 10.1-10.3
Устойчивость	пп. 8.5-8.13	пп. 8.5-8.13	пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 11.2.1-11.2.9	пп. 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.2.1-14.2.9	пп. 10.5-10.13

4.10.9 Перфорированные балки

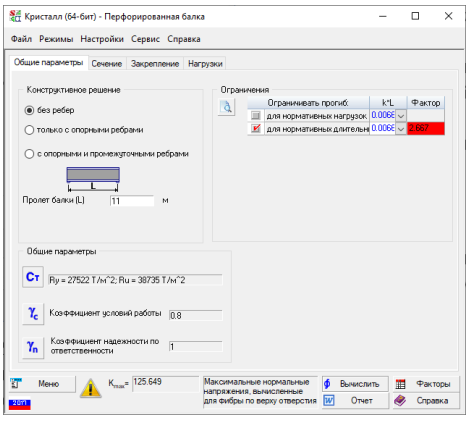


Рис. 4.10.9-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Перфорированная балка**

С помощью этого многостраничного окна реализуется проверка несущей способности перфорированной балки, изготовленной из прокатных двутавров. Окно включает пять страниц: **Общие параметры**, **Сечение**, **Закрепление**, **Нагрузки**, **Ребра жесткости**.

На странице **Общие параметры** (рис. 4.10.9-1) в поле **Пролет балки (L)** задается геометрическая длина перфорированной балки.

При нажатии на кнопку Ст появится диалоговое окно, предназначенное для задания класса стали перфорированной балки. С помощью кнопок γ_c и γ_n задаются коэффициент условий работы и коэффициент надежности по ответственности для перфорированной балки.

Для перфорированных балок выполняются следующие проверки:

Проверка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СНиП РК 5.04-23-2002	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 2011	Ссылка на СП 294.1325800-2017	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Максимальные нормальные напряжения, вычисленные для крайней фибры верхнего пояса	п. 19.2	п. 19.2	п. Л.5.2	п. М.5.2	п. 20.5.2	п. 23.2	п. 21.2
Максимальные нормальные напряжения, вычисленные для фибры по верху отверстия	п. 19.2	п. 19.2	п. Л.5.2	п. М.5.2	п. 20.5.2	п. 23.2	п. 21.2
Максимальные нормальные напряжения, вычисленные для крайней фибры нижнего пояса	п. 19.2	п. 19.2	п. Л.5.2	п. М.5.2	п. 20.5.2	п. 23.2	п. 21.2
Максимальные нормальные напряжения, вычисленные для фибры по низу отверстия	п. 19.2	п. 19.2	п. Л.5.2	п. М.5.2	п. 20.5.2	п. 23.2	п. 21.2
Максимальные касательные напряжения, вычисленные для опорного сечения балки	п. 19.2	п. 19.2	п. Л.5.2	п. М.5.2	п. 20.5.2	п. 23.2	п. 21.2
Устойчивость плоской формы изгиба	п. 19.3	п. 19.3	п. Л.5.3	п. М.5.3	п. 20.5.3	п. 23.3	п. 21.3
Местная устойчивость стенки	пп. 7.18*, 19.5	пп. 7.28, 19.5	пп. 8.3.2, Л.5.5	пп. 7.3.2, М.5.5	п. 7.3.2 СП 16.13330.2017, п. 20.5.5	п. 23.5	пп. 9.17, 21.5
Критическое отношение ширины сжатого пояса балки к эффективной высоте сжатой части стенки	пп. 7.18*, 19.5	пп. 7.18, 19.5	пп. 8.3.2, Л.5.5	пп. 7.3.2, М.5.5	п. 7.3.2 СП 16.13330.2017, п. 20.5.5 СП 294.1325800.2017	п. 23.5	пп. 9.17, 21.5
Устойчивость опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 8.5.17 СП 16.13330.2017	п. 9.5.13	п. 9.13
Смятие опорного ребра	п. 7.12	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17	п. 8.5.17 СП 16.13330.2017	п. 9.5.13	п. 9.13
Прочность шва опорного ребра	п. 11.5	п. 11.5	п. 15.1.19	п. 14.1.19	п. 14.1.19 СП 16.13330.2017	п. 16.1.19	п. 13.5
Предельный прогиб балки	п. 19.6	п. 19.6	п. Л.5.6	п. М.5.6	п. М.5.6 СП 16.13330.2011	п. 23.6	п. 21.6

На странице **Общие параметры** (рис. 4.10.9-1) в группе **Конструктивное решение** содержатся маркеры для указания предполагаемой системы оребрения перфорированной балки:

- без ребер;
- только с опорными ребрами;
- с опорными и промежуточными ребрами жесткости.

В группе **Ограничения** может быть задано ограничение по абсолютному значению прогиба (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок) перфорированной балки. Предельно допустимое значение прогиба перфорированной балки задается в долях от величины пролета. Фактическое значение прогиба перфорированной балки, вычисленное от действия нагрузок, соответствующих второй группе предельных состояний, будет сопоставлено с предельно допустимым прогибом.

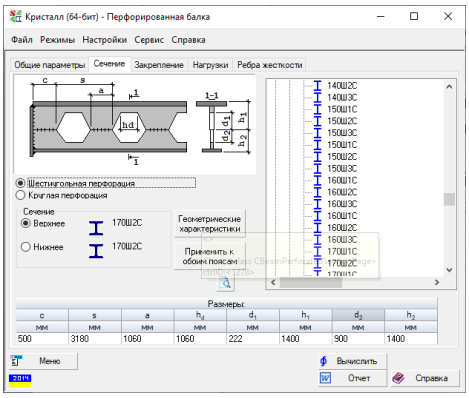


Рис. 4.10.9-2. *Страница* **Сечение** *режима* **Перфорированная балки**

На странице **Сечение** (рис. 4.10.9-2) пользователем назначается поперечное сечение перфорированной балки.

Сечение перфорированной балки формируется из прокатных двутавров (в общем случае разных для верхнего и нижнего поясов балки). Выбор прокатных двутавров осуществляется из соответствующих сортаментов, дерево которых отображается справа на странице.

Кроме того, пользователем задаются размеры отверстий, их шаг и размещение вдоль стенки балки. С помощью одноименных маркеров можно выбрать шестиугольную или круглую перфорацию.

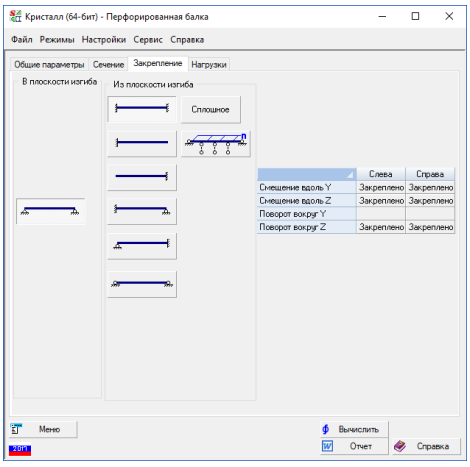


Рис. 4.10.9-3. *Страница* **Закрепление** *режима* **Перфорированная балка**

Страница **Закрепление** (рис. 4.10.9-3) содержит две группы кнопок, с помощью которых указывается система закреплений балки в плоскости изгиба и из плоскости изгиба. Выбор внутри каждой группы осуществляется независимо нажатием кнопки с соответствующей схемой.

В силу ограниченности методики нормативного расчета таких конструкций в данном режиме реализованы только однопролетные шарнирно опертые в плоскости изгиба расчетные схемы перфорированных балок. При этом, если при задании условий закрепления из плоскости изгиба назначен последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

С помощью таблицы отображения выбранной системы связей, отображаемой справа на странице, осуществляется контроль введенных исходных данных.

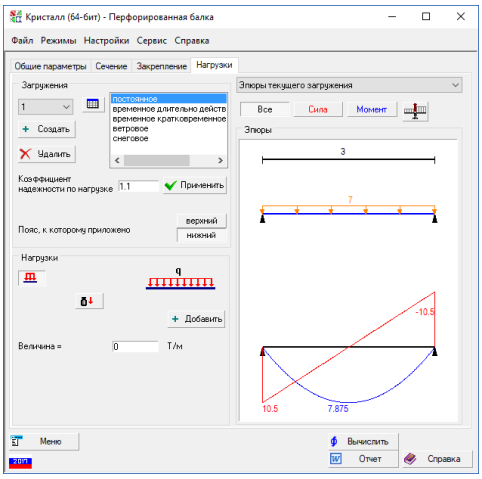


Рис. 4.10.9-4. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Перфорированная балка**

На странице **Нагрузки** (рис. 4.10.9-4) задаются нагрузки, действующие на перфорированну балку. В силу ограниченности методики нормативного расчета таких конструкций в данном режиме реализованы только равномерно распределенная нагрузка на перфорированную балку и нагрузка собственного веса. Для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте – верхний или нижний пояс перфорированной балки, которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения.

Окно **Эпюры** на этой странице предназначено для отображения эпюр внутренних усилий.

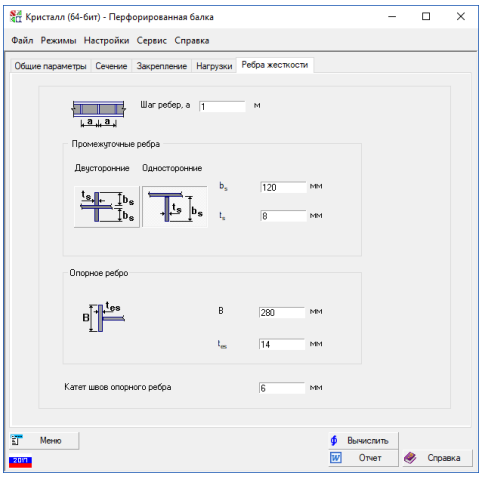


Рис. 4.10.9-5. *Страница* **Ребра жесткости** *режима* **Перфорированная балка**

Если на странице **Общие параметры** (рис. 4.10.9-1) в группе **Конструктивное решение** задана схема оребрения перфорированной балки при наличии только опорных ребер или с опорными и промежуточными ребрами жесткости, тогда в интерфейсе данного режима появляется страница **Ребра жесткости** (рис. 4.10.9-5).

На этой странице задаются размеры (ширина и толщина) опорного ребра и катета углового сварного шва, которым это ребро приваривается к стенке перфорированной балки. Принято, что ширина опорного ребра не должна быть меньше ширины наиболее узкой полки двутавра.

При выборе конструктивного решения балки с опорными и промежуточными ребрами жесткости в поле **Шаг ребер** необходимо задать шаг промежуточных ребер жесткости, определить их тип, а также в соответствующих полях задать их рамеры (ширину и толщину). Тип промежуточных ребер (односторонние или двухсторонние) выбирается с помощью кнопок с изображением схемы ребер.

Необходимо обратить внимание, что заданный шаг ребер жесткости должен быть кратен расстоянию между центрами отверстий перфорированной балки! В случае, когда пролет балки не кратен заданному шагу поперечных ребер жесткости, регулировка расположения промежуточных ребер жесткости по длине балки выполняется за счет крайних отсеков.

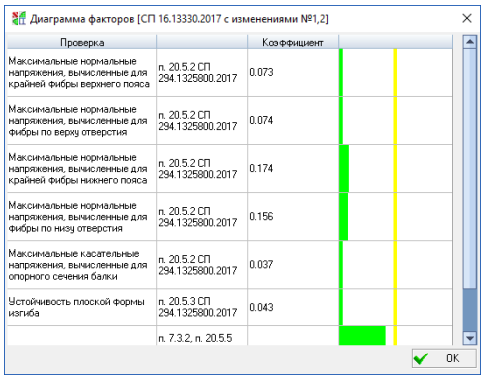


Рис. 4.10.9-6. *Диалоговое окно* **Диаграмма факторов** *режима* **Перфорированная балка**

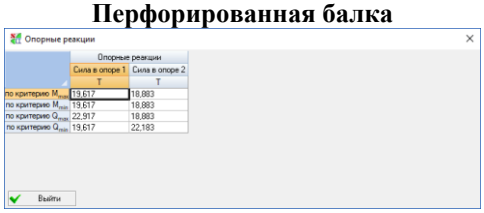


Рис. 4.10.9-7. *Диалоговое окно* **Опорные реакции**

Нажатие кнопки **Факторы** вызывает диалоговое окно **Диаграмма факторов** (рис. 4.10.9-6), отображающее результаты расчетов несущей способности перфорированной балки.

При нажатии кнопки **Отчет** формируется документ, в который кроме всего прочего выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 4.10.9-7), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

Ограничения реализации

Не выполняется расчет сварных швов, прикрепляющих ребра жесткости и не проверяются минимальные размеры сварных швов по таблице 38* СНиП II-23-81* (таблице 35 СП 53-102-2004, таблице 38 СП 16.13330, таблице 1.12.1 ДБН В.2.6-163:2010, таблице 16.1 ДБН В.2.6-198:2014).

При проектировании по СП 16.13330.2017 прогибы перфорированной балки не вычисляются по формуле (171) п. 20.5.6 в силу ограниченности области использования данной формулы перфорированными балками с отверстиями в форме правильных шестиугольников высотой 0.667h, где h – полная высота балки. В данном случае реализован более общий подход, регламентируемый п. М.5.6 СП 16.13330.2011.

4.11 Приложения

4.11.1 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Кристалл

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по						
	СНиП II-23-81*	**СНиП РК 5.04-23-2002**	**СП 53-102-2004**	**СП 16.13330**	**ДБН В.2.6-163:2010**	**ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Стали	табл. 50*, табл. 51*, табл. 51, *б*, Проект СНиП 53-01-96	табл. 50*, табл. 51*, табл. 51, *б*, Проект СНиП 53-01-96	пп. 6.1,6.2, прил. В, табл. В1, В2, В5-В8	пп. 5.1,5.2, прил. В, табл. В1, В2, В5-В8	прил. Е., табл. Е.1	прил. Г., табл. Г.1	прил. Е., табл. Е.3, Е.4
Сортамент металлопроката	ГОСТ 26020-83, ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-89, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8510-86*	ГОСТ 26020-83, ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-89, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8510-86*	ГОСТ 26020, ГОСТ 8239, ГОСТ 8240, ГОСТ 8509, ГОСТ 8510	ГОСТ 26020, ГОСТ 8239, ГОСТ 8240, ГОСТ 8509, ГОСТ 8510	ГОСТ 26020, ГОСТ 8239, ГОСТ 8240, ГОСТ 8509, ГОСТ 8510	ГОСТ 26020, ГОСТ 8239, ГОСТ 8240, ГОСТ 8509, ГОСТ 8510	ГОСТ 26020-83, ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-89, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8510-86*
Болты	Табл. 57*, ГОСТ 1759.4-87	Табл. 57*, ГОСТ 1759.4-87	п. 6.5, прил. Г, табл. Г3, Г6, Г6, Г8, Г9	п. 5.5, прил. Г, табл. Г3, Г6, Г6, Г8, Г9	прил. В	прил. А	Табл. 57*, ГОСТ 1759.4-87
Предельные гибкости	табл. 19*, табл. 20*	табл. 19*, табл. 20*	п. 11.4	п. 10.4	табл. 1.9.9, 1.9.10	табл. 13.9, 13.10	
Коэффициенты условий работы	табл. 6*	табл. 6*	п. 5.3.2	п. 4.3.2	п. 1.12.3.4, табл. 1.12.1, 1.12.4	п. 16.3.4, табл. 16.1, 16.4	прил. F, табл. F.1
Расчетные длины	пп. 6.1–6.4, пп. 6.5–6.6, табл. 71, *а,* табл. 17, *а,* Annex F EN 1993-1-1	пп. 6.1–6.4, пп. 6.5–6.6, табл. 71, *а,* табл. 17, *а,* Annex F EN 1993-1-1	пп. 11.1, 11.2, 11.4, прил. О, табл. О1, О2, О4	пп. 10.1, 10.2, 11.4, прил. И, табл. И1, И2, И4	пп. 1.9.1–1.9.4, табл. 1.9.1, 1.9.2, 1.9.8, 1.9.9	пп. 13.1–13.4, табл. 13.1, 13.2, 13.8, 13.9	пп. 8.1–8.4; пп. 8.5, 8.9, п. 17.2
Сопротивление сечений	п. 5.1, 5.3–5.6, 5.8–5.10, 5.12, 5.14*, 5.15, 5.18*, 5.24, 5.25, 5.27*, 5.28, 5.30–5.32, 5.34; пп. 6.15, 6.16; пп. 7.1. 7.2*,	пп. 5.1, 5.3–5.6, 5.8–5.10, 5.12, 5.14, 5.15, 5.18, 5.24, 5.25, 5.27, 5.28, 5.30–5.32, 5.35; пп. 6.14, 6.15; 7.1. 7.2, 7.3,	п. 8.1.1, 8.1.3–8.1.5; пп. 8.2.7–8.2.9; п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.5; п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; пп. 9.2.1, 9.2.3, 9.4.1, пп. 9.5.1–9.5.9, п. 9.5.14;	пп. 7.1.1, 7.1.3–7.1.5; пп. 7.2.7–7.2.9; п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.6, п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; пп. 8.2.1, 8.2.3, 8.4.1, п. 8.5.1–8.5.9; п. 8.5.18;	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5; п. 1.4.2.7–1.4.2.9; п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; пп. 1.4.3.5, 1.4.3.7, табл. 1.4.4; пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3, 1.5.4.1; пп. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.5.5.14; пп. 1.6.1.1, 1.6.1.3,	пп. 8.1.3, 8.1.5; п. 8.2.7–8.2.9; п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 8.3.5, п. 8.3.7, табл. 8.4; пп. 9.2.1, 9.2.3,	п. 7,1, 7.3–7.6, 7.8–7.10, 7.12, 7.14, 7.15, 7.18, 7.24, 7.25, 7.27, 7.28, 7.30–7.32, 7.34; п. 8.18; пп. 9.1. 9.2, 9.3,

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по						
	СНиП II-23-81*	**СНиП РК 5.04-23-2002**	**СП 53-102-2004**	**СП 16.13330**	**ДБН В.2.6-163:2010**	**ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
	7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18*, табл. 27*; п. 7.20*; п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*; п. 7.24, табл. 30; п.7.27; п. 8.5–8.13	7.4–7.6, 7.9, 7.10; 7.24, 7.26, 7.27, 7.28, 7.30; 7.32, 7.33, 7.34, 7.37; 8.5–8.13	пп. 10.1.1, 10.1.3, 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8–10.2.10, 10.3.2, п. 10.4.2, табл. 20; пп. 10.4.3, 10.4.6, 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9; п. 11.4.1; пп. 12.2.1–12.2.8	пп. 9.1.1, 9.1.3, пп. 9.2.2, 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8–9.2.10, п. 9.3.2, пп. 9.4.2, табл. 22; пп. 9.4.3, 9.4.6, п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9; п. 10.4.1; п. 11.2.1–11.2.9	пп. 1.6.2.2, 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8–1.6.2.10; п. 1.6.3.2 п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; пп. 1.6.4.5, 1.6.4.7, 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.9.4.1; п. 1.10.2.1–1.10.2.9	п. 9.4.1; п. 9.5.1–9.5.9; п. 9.5.14; пп. 10.1.1, 10.1.3; пп. 10.2.2, 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8–10.2.10; п. 10.3.2, п. 10.4.2, табл. 10.3; пп. 10.4.5, 10.4.7, 10.4.8, табл. 10.4; п. 13.4.1; п. 14.2.1–14.2.9	9.4, 9.5 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18; п. 9.20, 9.22, 9.23, 9.24, 9.27; пп. 10.5–10.13
Болтовые соединения	п. 5.1, 5.12, 5.25* п. 11.7	пп. 5.1, 5.12, 5.25, 11.7	пп. 9.2.1, 10.1.1, п. 15.2.9	пп. 8.2.1, 9.1.1; п. 14.2.9	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1, п. 1.12.2.9	пп. 9.2.1, 10.1.1, п. 16.2.9	п. 7.1, 7.12, 7.25 п. 13.7
Фрикционные соединения	пп. 5.12, 5.25*, п. 11.13*	пп. 5.12, 5.25, 11.13	пп. 9.2.1, 10.1.1, п. 15.3.3	пп. 8.2.1, 9.1.1, п. 14.3.3	пп. 1.5.2.1, 1.6.1.1, п. 1.12.3.3	пп. 9.2.1, 10.1.1, п. 16.3.3	пп. 7.12, 7.25; п. 13.13
Сварные соединения	п. 11.2*	п. 11.2	п. 15.1.16	п. 14.1.16	п. 1.12.1.16	п. 16.1.16	п. 13.2
Фермы	пп. 5.1, 5.3; пп. 6.1–6.4, 6.16; пп. 7.14, табл. 27*; пп. 7.1, 7.2*; п. 7.14, табл. 27*; пп. 7.20*, 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.26*, 7.27*; пп. 8.5-8.13	пп. 5.1, 5.3; 6.1–6.4, 6.15, 7.23, 7.1, 7.2, 7.23, 7.30, 7.32, 7.33, 7.36, 7.37, 8.5-8.13	пп. 8.1.1, 8.1.3; п. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.5; п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; пп. 11.1.1–11.1.4, 11.4.1; пп. 12.2.1-12.2.8	пп. 7.1.1, 7.1.3; пп. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.6, п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; пп. 10.1.1–10.1.4, 10.4.1; пп. 11.2.1–11.2.9	пп. 1.4.1.1, 1.4.1.3; пп. 1.4.3.1, 1.4.3.2, табл. 1.4.3; пп. 1.4.3.5, 1.4.3.7, табл. 1.4.4; пп. 1.9.1.1–1.9.1.4, 1.9.4.1; пп. 1.10.2.1–1.10.2.9	пп. 8.1.1, 8.1.3; пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8.3; пп. 8.3.5, 8.3.7, табл. 8.4; пп. 13.1.1–13.1.4, 13.4.1; пп. 14.2.1–14.2.9	пп. 7.1, 7.3; пп. 8.1–8.4, 8.18; п. 9.15; п. 9.1, 9.2, 9.3; пп. 9.15, 9.20, 9.22, 9.23, 9.26, 9.27; пп. 10.5-10.13
Элемент фермы	пп. 5.1, 5.3; пп. 6.1–6.4, 6.16; пп. 7.14, табл. 27*; пп. 7.1, 7.2*; п. 7.14,	пп. 5.1, 5.3, 6.1–6.4, 6.15; 7.23, 7.1, 7.2, 7.23, 7.30, 7.32, 7.33,	пп. 8.1.1, 8.1.3; п. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.5; п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10;	пп. 7.1.1, 7.1.3; пп. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.1, 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.6, п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11;	пп. 1.4.1.1, 1.4.1.3; пп. 1.4.3.1, 1.4.3.2, табл. 1.4.3; пп. 1.4.3.5, 1.4.3.7, табл. 1.4.4; пп. 1.9.1.1–1.9.1.4, 1.9.4.1;	пп. 8.1.1, 8.1.3; пп. 8.3.1, 8.3.2, табл. 8.3; пп. 8.3.5, 8.3.7,	пп. 7.1, 7.3; пп. 8.1–8.4, 8.18; п. 9.15; п. 9.1, 9.2, 9.3;

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по						
	СНиП II-23-81*	**СНиП РК 5.04-23-2002**	**СП 53-102-2004**	**СП 16.13330**	**ДБН В.2.6-163:2010**	**ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
	табл. 27*; пп. 7.20*, 7.22*, 7.23*, табл. 29*, п. 7.26*, 7.27*; пп. 8.5–8.13	7.36, 7.37, 8.5–8.13	пп. 11.1.1–11.1.4, 11.4.1; пп. 12.2.1–12.2.8	пп. 10.1.1–10.1.4, 10.4.1; пп. 11.2.1–11.2.9	пп. 1.10.2.1–1.10.2.9	табл. 8.4; пп. 13.1.1–13.1.4, 13.4.1; пп. 14.2.1–14.2.9	пп. 9.15, 9.20, 9.22, 9.23, 9.26, 9.27; пп. 10.5-10.13
Балки	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*; п. 5.12, 5.14*, 5.15 пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; п. 7.12, п. 7.24, табл. 30; п. 11.5	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*; пп. 5.12, 5.14, 5.15 7.1, 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10; 7.12, 7.34, 11.5	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011; п. 9.2.1, 9.4.1; пп. 9.5.1–9.5.9; пп. 9.5.13, 9.5.14; п. 15.1.19	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011; пп. 8.2.1, 8.4.1; пп. 8.5.1–8.5.9; пп. 8.5.17, 8.5.18; п. 14.1.19	пп. 1.5.2.1, 1.5.4.1; пп. 1.5.5.1–1.5.5.9; пп. 1.5.5.13, 1.5.5.14; п. 1.12.1.19	пп. 9.2.1, 9.4.1; пп. 9.5.1–9.5.9; пп. 9.5.13, 9.5.14; п. 16.1.19	пп. 1.10–1.12 КМК 2.01. 07-96; п. 7.12, 7.14, 7.15 пп. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.13, 9.24; п. 13.5
Неразрезные балки	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*; п. 5.12, 5.14*, 5.15 пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; п. 7.12, п. 7.24, табл. 30; п. 11.5	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*; п. 5.12, 5.14, 5.15, 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10; 7.12, 7.34, 11.5	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011; п. 9.2.1, 9.4.1; пп. 9.5.1–9.5.9; пп. 9.5.13, 9.5.14; п. 15.1.19	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011; пп. 8.2.1, 8.4.1; пп. 8.5.1–8.5.9; пп. 8.5.17, 8.5.18; п. 14.1.19	пп. 1.5.2.1, 1.5.4.1; пп. 1.5.5.1–1.5.5.9; пп. 1.5.5.13, 1.5.5.14; п. 1.12.1.19	пп. 9.2.1, 9.4.1; пп. 9.5.1–9.5.9; пп. 9.5.13, 9.5.14; п. 16.1.19	пп. 1.10–1.12 КМК 2.01. 07-96; п. 7.12, 7.14, 7.15; пп. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.13, 9.24; п. 13.5
Стойки	п. 5.1, 5.3–5.6, 5.8–5.10, 5.12, 5.14*, 5.15, 5.18*, 5.24, 5.25, 5.27*, 5.28, 5.30–5.32, 5.34; пп. 6.15, 6.16; пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*,	пп. 5.1, 5.3–5.6, 5.8–5.10, 5.12, 5.14, 5.15, 5.18, 5.24, 5.25, 5.27, 5.28, 5.30–5.32, 5.35, 6.14, 6.15, 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10, 7.23, 7.26, 7.27, 7.28,	п. 8.1.1, 8.1.3–8.1.5; пп. 8.2.7–8.2.9; п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.5; п. 8.3.7, табл. 9; п. 8.3.10; пп. 9.2.1, 9.2.3, 9.4.1, пп. 9.5.1–9.5.9, п. 9.5.14; пп. 10.1.1, 10.1.3, 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8–10.2.10, 10.3.2, п. 10.4.2, табл. 20;	пп. 7.1.1, 7.1.3–7.1.5; пп. 7.2.7–7.2.9; п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.6, п. 7.3.8, табл. 10; п. 7.3.11; пп. 8.2.1, 8.2.3, 8.4.1, п. 8.5.1–8.5.9; п. 8.5.18; пп. 9.1.1, 9.1.3, пп. 9.2.2, 9.2.4, 9.2.5, 9.2.8–9.2.10, п. 9.3.2, пп. 9.4.2,	пп. 1.4.1.3, 1.4.1.5; п. 1.4.2.7–1.4.2.9; п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; пп. 1.4.3.5, 1.4.3.7, табл. 1.4.4; пп. 1.5.2.1, 1.5.2.3, 1.5.4.1; пп. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.5.5.14; пп. 1.6.1.1, 1.6.1.3, пп. 1.6.2.2, 1.6.2.4, 1.6.2.5, 1.6.2.8–1.6.2.10; п. 1.6.3.2 п. 1.6.4.2,	пп. 8.1.3, 8.1.5; п. 8.2.7–8.2.9; п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 8.3.5, п. 8.3.7, табл. 8.4; пп. 9.2.1, 9.2.3, п. 9.4.1; п. 9.5.1–9.5.9; п. 9.5.14; пп. 10.1.1,	п. 7.1, 7.3–7.6, 7.8–7.10, 7.12, 7.14, 7.15, 7.18, 7.24, 7.25, 7.27, 7.28, 7.30–7.32, 7.34; пп. 8.18; пп. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 – 9.7, 9.11, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17,

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по						
	СНиП II-23-81*	**СНиП РК 5.04-23-2002**	**СП 53-102-2004**	**СП 16.13330**	**ДБН В.2.6-163:2010**	**ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
	7.18*, табл. 27*; п. 7.20*; п. 7.22*, 7.23*, табл. 29*; п. 7.24, табл. 30; п.7.27; п. 8.5–8.13	7.30; 7.32, 7.33, 7.34, 7.37; 8.5–8.13	пп. 10.4.3, 10.4.6, 10.4.7, табл. 21; п. 10.4.9; п. 11.4.1; пп. 12.2.1–12.2.8	табл. 22; пп. 9.4.3, 9.4.6, п. 9.4.7, табл. 23; п. 9.4.9; п. 10.4.1; п. 11.2.1–11.2.9	табл. 1.6.3; пп. 1.6.4.5, 1.6.4.7, 1.6.4.8, табл. 1.6.4; п. 1.9.4.1; п. 1.10.2.1–1.10.2.9	10.1.3; пп. 10.2.2, 10.2.4, 10.2.5, 10.2.8–10.2.10; п. 10.3.2, п. 10.4.2, табл. 10.3; пп. 10.4.5, 10.4.7, 10.4.8, табл. 10.4; п. 13.4.1; п. 14.2.1–14.2.9	9.18; пп. 9.20, 9.22, 9.23; пп. 9.24, 9.27; пп. 10.5–10.13
Местная Устойчи-вость	пп. 7.1. 7.2*, 7.3, 7.4*–7.6*, 7.9, 7.10; пп. 7.14, 7.16*, 7.17*, 7.18, табл. 27*; пп. 7.22*, 7. 23*, табл. 29*; п. 7.24, табл. 30	пп. 7.1. 7.2, 7.3, 7.4–7.6, 7.9, 7.10, 7.23, 7.26, 7.27, 7.28, 7.32, 7.33, 7.34	п. 8.3.2, табл. 8; п. 8.3.7, табл. 9; п. 9.5.1–9.5.9; п. 9.5.14; п. 10.4.2, табл. 20; п. 10.4.3, п. 10.4.7, табл. 21;	п. 7.3.2, табл. 9; п. 7.3.8, табл. 10; п. 8.5.1–8.5.9; п. 8.5.18; п. 9.4.2, табл. 22; п. 9.4.3, п. 9.4.7, табл. 23; п. 11.2.2	п. 1.4.3.2, табл. 1.4.3; п. 1.4.3.7, табл. 1.4.4; п. 1.5.5.1–1.5.5.9; п. 1.5.5.14; п. 1.6.4.2, табл. 1.6.3; п. 1.6.4.8, табл. 1.6.4	п. 8.3.2, табл. 8.3; п. 8.3.7, табл. 8.4; п. 9.5.1–9.5.9; п. 9.5.14; п. 10.4.2, табл. 10.3; п. 10.4.8, табл. 10.4; п. 14.2.2	пп. 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 – 9.7, 9.10, 9.11; пп. 9.15, 9.16, 9.17, 9.18; пп. 9.22, 9.23, 9.24
Опорные плиты	п. 5.12	п. 5.12	п. 9.6.2	п. 8.6.2	пп. 1.10.1.1-1.10.1.3, 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.1.1-14.1.3, 14.2.1-14.2.9	п. 7.12
Огибающие	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*	пп. 1.10–1.12 СНиП 2.01.07-85*	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011	пп. 6.2–6.5 СП 20.13330.2011			пп. 1.10–1.12 КМК 2.01. 07-96
Материалы для сварки	пп. 2.2*, 3.4	пп. 2.2, 3.4	п. 6.4, прил.Г, табл. Г1, Г2	п. 5.4, прил.Г, табл. Г1, Г2	прил. Ж	прил. Д	п. 5.7, табл. D.5
Листовые конструк-ции	пп. 8.1-8.3, 8.5–8.12	пп. 8.1-8.3, 8.5–8.12	пп. 12.1.1–12.1.3, 12.2.1, 12.2.3–12.2.7	пп. 11.1.1–11.1.3, 11.2.1, 11.2.3–11.2.7	пп. 1.10.1.1-1.10.1.3, 1.10.2.1-1.10.2.9	пп. 14.1.1-14.1.3, 14.2.1-14.2.9	пп. 10.1-10.3, 10.5–10.12
Перфорированная балка	пп. 7.12, 7.18*, 11.5, пп. 19.2, 19.3, 19.5, 19.6	пп. 7.12, 7.28, 11.5 пп. 19.2, 19.3, 19.5, 19.6	пп. 8.3.2, 9.5.13, 15.1.19 пп. Л.5.2, Л.5.3, Л.5.5, Л.5.6	пп. 7.3.2, 8.5.17, 14.1.19, пп. М.5.2, М.5.3, М.5.5, М.5.6 СП 16.13330.2011 , п. 7.3.2, 8.5.17, 14.1.19 СП	–	пп. 9.5.13, 16.1.19, пп. 23.2, 23.3, 23.5, 23.6	пп. 9.13, 9.18, 13.5, пп. 21.2, 21.3, 21.5, 21.6

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по						
	СНиП II-23-81*	СНиП РК 5.04-23-2002	СП 53-102-2004	СП 16.13330	ДБН В.2.6-163:2010	ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
				16.13330.2017, пп. 20.5.2, 20.5.3, 20.5.5 СП 294.1325800.2017			

4.11.2 О формуле (49) СНиП II-23-81*

Формула (49) не вызывает никаких нареканий для сечений типа прямоугольного, где имеется характерная угловая точка А (рис. 4.11.2-1), в которой суммируются условные напряжения $M_x/(c_x W_{xn,\min} R_y \gamma_c)$ и $M_y/(c_y W_{yn,\min} R_y \gamma_c)$.

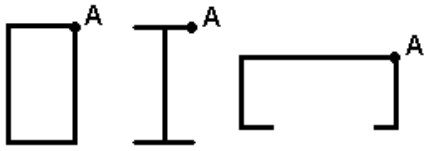


Рис. 4.11.2-1. Сечения с угловой точкой

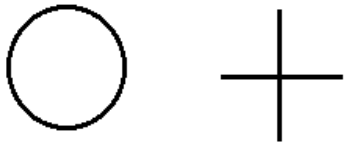


Рис. 4.11.2-2. Сечения без угловой точки

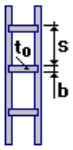
В сечениях без такой угловой точки (рис. 4.11.2-2) суммирование напряжений выполнить невозможно. В этом смысле более правильно построена формула (50) СНиП II-23-81*, где имеется возможность перебирать координаты *x* и *y* различных точек сечения.

Отмеченная проблема актуальна также для СП и ДБН.

На указанное различие рассматриваемых случаев обратил внимание Л.Б. Кацнельсон (ЦНИИСК), которому авторы разработки признательны за инициирование рассмотрения этого случая и многих других деталей реализации норм.

4.11.3 О формуле (14) СНиП II-23-81*

В книге С.П. Тимошенко [8, с. 257–269] исследованы приближенные формулы типа (14) СНиП II-23-81*. Эти исследования показали, что формулы такого типа имеют ограниченную область применения. К сожалению, СНиП II-23-81* не содержит рекомендаций по области использования формулы (14). В результате формальное ее использование приводит к следующей парадоксальной ситуации. Для стойки с поперечным сечением в виде двутавра устойчивость при центральном сжатии будет обеспечена, а для стойки с поперечным сечением в виде спаренных двутавров с соединительной решеткой вида



при определенных соотношениях размеров решетки стойка теряет устойчивость. Чтобы избежать возникновения подобных казусов, в программе **Кристалл** эффективная высота ветви принимается равной минимуму значения, вычисленного по формуле (14), и фактической высоты сквозной стойки.

Отмеченная проблема актуальна также для СП и ДБН.

4.11.4 Расчет «нестандартных» сечений

СНиП, СП и ДБН регламентируют проверку только ограниченного набора форм сечений. Тем не менее, в проектной практике часто возникает необходимость использования сечений с формой, не оговоренной СНиП II-23-81*. В этой ситуации возможно использование программ, входящих в пакет **SCAD Office** одним из следующих способов:

1. С помощью программ **Конструктор сечений**, **Консул** или **ТОНУС** (см. [5]) создать файл с описанием сечения требуемой формы. Использовать режим **Сопротивление Сечений** (см. раздел 4.9.1) программы **Кристалл** для анализа работы требуемого сечения. При этом следует помнить, что СНиП II-23-81* (а также СП и ДБН) не дает рекомендаций по определению некоторых параметров для расчета произвольных сечений (коэффициента влияния формы сечения η, коэффициентов α и β по таблице 10 и др.). Поэтому расчет выполняется в запас надежности при самых неблагоприятных значениях этих величин, а проверка устойчивости плоской формы изгиба вообще не выполняется в предположении, что возможность такой формы потери устойчивости исключена применением соответствующих раскреплений. СНиП, ДБН и другие аналогичные нормативные документы регламентируют выполнять расчет сечений на действие поперечных сил по формулам, которые трудно адаптировать к случаю сечения произвольной формы. Поэтому при анализе прочности произвольного сечения на действие поперечных сил программа использует предлагаемый Еврокодом подход, при котором сравниваются усредненные касательные напряжения, вычисляемые как отношение поперечной силы к сдвиговой площади, и расчетное сопротивление на срез. При экспертизе сечений возникает также проблема выбора расчетного сопротивления стали $\mathbf{R}_y$, величина которого зависит от толщины сечения. В программе принято, что для произвольных сечений с явно указанной маркой стали величина расчетного сопротивления $\mathbf{R}_y$ будет принята по следующим правилам:
   - для сечений, созданных программой **Консул** — минимальное значение расчетного сопротивления стали данной марки;
   - для сечений, созданных программой **Тонус** — значение расчетного сопротивления стали самой толстой полоски (если данная толщина отсутствует в соответствующей таблице нормативного документа, то будет взято минимальное значение расчетного сопротивления стали данной марки);
   - для сечений, созданных программой **Конструктор Сечений** — значение расчетного сопротивления стали самого толстого листа или фасонного проката (если данная толщина отсутствует в соответствующей таблице нормативного документа, то будет взято минимальное значение расчетного сопротивления стали данной марки); если сечение сформировано только из фасонного проката, то будут использоваться данные норм для фасона, в противном случае — данные норм для листовой стали.

2. Воспользоваться программой **СЕЗАМ** (см. [5]) для подбора эквивалентного сечения и заменить некоторое нестандартное поперечное сечение близким ему стандартным (например, двутавром или коробкой).

4.11.5 О сейсмических воздействиях

В некоторых режимах программы **Кристалл** (*Стойка, Балка, Неразрезная балка, Ферма*) понятие «сейсмическая нагрузка» отсутствует. Это связано с тем, что для корректного учета сейсмики требуется задание специальной информации о логических взаимосвязях загружений (что фактически реализуется в режиме РСУ программы SCAD).

Отметим, что п. 2.14 СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах требует использовать дополнительный коэффициент условий работы, который больше 1 (см. табл. 7 СНиП II-7-81*). При расчете конструкции на одновременное действие нескольких нагрузок (а для строительных конструкций это происходит практически всегда), одна из которых сейсмическая, СНиП формально требует использование этого коэффициента даже в тех случаях, когда доля сейсмического воздействия мала по сравнению с другими (длительными) нагрузками. Подобное требование может приводить к «опасным результатам».

Пользователь всегда может учесть сейсмику, установив, например, в параметрах программы **Кристалл** коэффициент условий работы, равный 1,4 (согласно требованиям табл. 7 СНиП II-7-81*). Без этих «дополнительных» действий расчет будет выполнен в запас прочности.

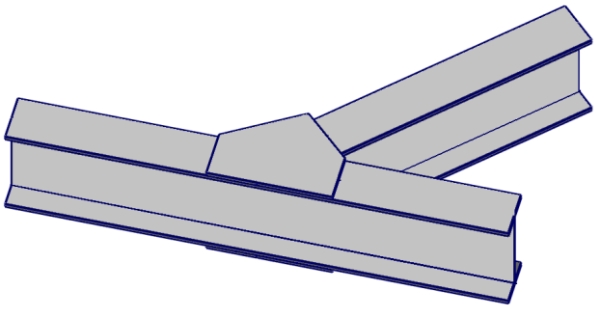
4.11.6 Учет стесненного кручения

После выхода **SCAD Office** версии 21.1 на многих форумах в Интернете появились вопросы, касающиеся реализации СП 16.13330 в части учета стесненного кручения. Приведем один из них:

> В результате расчета (к примеру, стержни) по прежнему вычисляются N, M_z, M_y, $M_к$, Q_z, Q_y.
> А как насчет учета бимомента при любых возникших раскреплениях в пространственной структуре и любых элементах? Как будет выполнено требование, например, п.8.2.1 СП 16 учитывать добавочные напряжения при стесненном кручении?
> В нем не сказано, что данную формулу применять только для тонкостенных стержней. Для любых элементов и типов сечений. Нет пока реализации СП16.
> Но самое главное, что это и не возможно.

Автор вопроса справедливо заметил «...главное, что это и не возможно».

Действительно, как следует из технической теории тонкостенных стержней, бимоменту B соответствует обобщенное перемещение в виде депланации (потери плоскостности) поперечного сечения стержня. Для системы, составленной из тонкостенных стержней, когда в узле сходится несколько элементов, ориентированных различным способом в пространстве, необходимо уметь записывать условия совместности депланаций или условия равновесия бимоментов, определенных в концевых сечениях стержней. Такие условия легко формулируются лишь в случае стыка двух элементов, расположенных по одной прямой, да и то в случае одинаковых поперечных сечений (неразрезная тонкостенная балка). В общем случае требуется детальный анализ конструкции узлового соединения, что выходит за рамки стандартного расчета стержневой системы.



Поскольку бимомент является воздействием, статический эквивалент которого равен нулю, условия равновесия в узле будут выполнены при произвольных значениях бимоментов в концевых сечениях стержней. Как сопоставить значения депланаций в концевых сечениях, остается неясным. В качестве разминки любителям (и авторам норм) предлагается один из простейших узлов (см. рисунок). Хотелось бы увидеть, какие условия по депланациям здесь будут указаны.

Особо следует остановиться на способе введения бимомента в СП 16.13330.

Для стержней, работающих в упругой стадии (сечения 1-го класса), предлагается проверка прочности по формуле (43), которая имеет вид:

$$\frac{M_x y}{I_{xn} R_y \gamma_c} \pm \frac{M_x y}{I_{yn} R_y \gamma_c} \pm \frac{B\omega}{I_\omega R_y \gamma_c} \le 1.$$

Что обозначено через I_ω и ω, авторы норм сказать не удосужились, очевидно, что это секториальный момент инерции и секториальная площадь. Последняя зависит от координат рассматриваемой точки, что следовало бы указать. Но если рассматривается конкретная точка поперечного сечения с координатами *x* и *y* при конкретном нагружении, вызвавшем внутренние усилия M_x, M_y, B, то что означают знаки ± в этой формуле?

Для двутавровых балок 1-го класса проверку устойчивости рекомендуется выполнять по формуле

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{xc} R_y \gamma_c} + \frac{M_x}{W_y R_y \gamma_c} + \frac{B}{W_\omega R_y \gamma_c} \le 1,$$

где используется значение секториального момента сопротивления W_ω без указания точки сечения, для которой оно должно быть вычислено. Ведь скорее всего здесь следует использовать формулу $W_\omega = I_{\omega n} / \omega(x, y)$.

Еще больше вопросов возникает при взгляде на формулу (105), которая предлагается для проверки прочности элементов, достигающих предельного состояния в упруго-пластической стадии,

$$\left(\frac{|N|}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{|M_x|}{c_x W_{xn,\min} R_y \gamma_c} + \frac{|M_x|}{c_x W_{xn,\min} R_y \gamma_c} + \frac{|B|}{W_{\omega n,\min} R_y \gamma_c} \le 1,$$

или на формулу (106) для элементов, у которых предельное состояние реализуется не на площадке текучести

$$\left(N/A_n \pm M_x y / I_{xn} \pm M_x y / I_{yn} \pm B\omega / I_{\omega n} \right) / \left(R_y \gamma_c \right) \le 1.$$

Вызывает сомнение сама структура формулы (105), которая определяет поверхность взаимодействия между вычисляемыми порознь предельными значениями сопротивления сечения $A_n R_y \gamma_c$, $c_x W_{xn.\min} R_y \gamma_c$, $c_y W_{yn.\min} R_y \gamma_c$ и $W_{\omega n,\min} R_y \gamma_c$. Тот факт, что сечение работает в упруго-пластической стадии, учтен введением повышающих множителей c_x и c_y к значениям момента сопротивления при изгибе. Но это не сделано по отношению к моменту сопротивления по бимоменту. Получается, что предельное значение сопротивления бимоменту при упруго-пластическом стесненном кручении равно его упругому значению. Известные исследования А.И. Стрельбицкой показали, что это не так.

И, наконец, последнее. Бимоменты возникают при стесненном кручении совместно с моментами стесненного кручения. Но нормы умалчивают вообще о необходимости проверять сечение на кручение (как свободное, так и стесненное). Откуда берется такая непоследовательность, остается неясным.

4.12 Литература

[1] Перельмутер А.В., Гильденгорн Л.А., О классификации стальных конструкций / Строительная механика и расчет сооружений. –1990. – №3. – с. 67–70.

[2] Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н., Уваров В.Ю., Вольберг Ю.Л., Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1984.

[3] Королёв В.П., Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность: Науч. тр. / ДГАСА. – Вып. 1-95. Донецк, 1995. – 108 с.

[4] Examples to Eurocode 3. 1st Edition. – Brussels (Belgium): ECCS. – №71. – 1993. – 114 p.

[5] Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. – К: ВПП «КОМПАС», 2001. – 96 с.
[6] Справочник проектировщика Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Общая часть. / Под общей ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 576 с.
[7] Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – М.: Стройиздат, 1989.
[8] Тимошенко С.П., Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука. – 1971. – 808 с.

5. Программа Кристалл Eurocode 3

Программа **Кристалл-Eurocode 3** предназначена для выполнения проверок элементов и соединений стальных конструкций на соответствие требованиям Eurocode 3. Она может быть полезна специалистам, выпускающим проектную документацию по заказам европейских фирм. *EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.1: General rules and rules for buildings* и *EN 1993-1-5. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.5: Plated structural elements* предназначены для выполнения проверок элементов стальных конструкций, в то время как *EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of Steel Structures. — Part 1.8: Design of joints* используется для проверок узлов и соединений стальных конструкций.

Eurocode 3 сопровождаются национальными документами по применению (NAD), которые в некоторых пунктах уточняют общие положения EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 и EN 1993-1-8. В программе полностью учтены национальные отличия при проектировании, устанавливаемые национальными органами, ответственными за безопасность.

5.1 Главное окно

В главном окне программы (рис. 5.1-1) расположены кнопки выбора режима работы. Режимы **Балки**, **Стойки**, **Связи** реализуют комплексную проверку отдельных конструктивных элементов стальных конструкций, а в режиме **Фермы** осуществляются все необходимые проверки элементов ферм на прочность и устойчивость по всем относящимся к ферменной конструкции требованиям норм, начиная с составления расчетных комбинаций нагрузок.

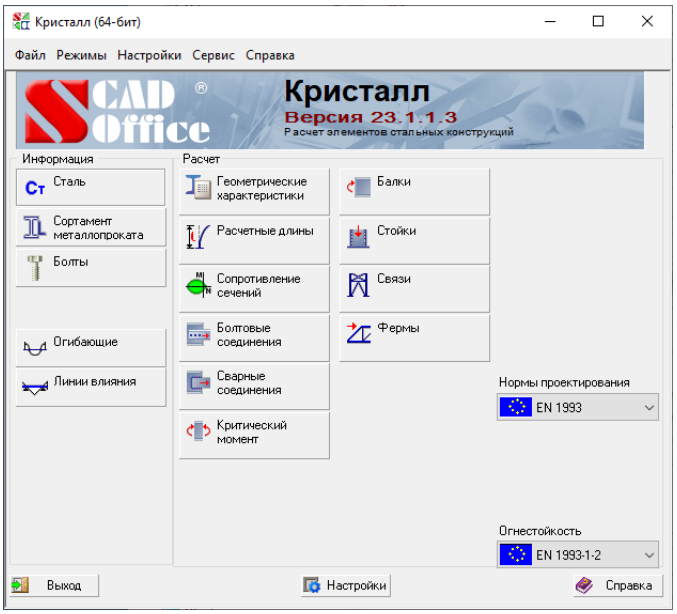


Рис. 5.1-1. *Главное окно программы*

Режимы **Сопротивление сечений, Болтовые соединения** и **Сварные соединения** реализуют выполнение предусмотренных EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 и EN 1993-1-8 отдельных операций по определению сопротивлений поперечных сечений стержневых элементов стальных конструкций и их соединений.

Вспомогательные режимы **Огибающие**, **Критический момент, Расчетные длины** и **Геометрические характеристики** реализуют некоторые часто используемые этапы расчета, представляющие самостоятельный интерес.

Информационные режимы **Сталь**, **Сортамент металлопроката** и **Болты** служат для просмотра марок сталей и соответствующей им номенклатуры проката и труб, сортаментов металлопроката и характеристик болтов (механические свойства, а также максимально допустимые усилия и минимальные предельные усилия растяжения).

Обращение к кнопкам выбора режима приводит к появлению многостраничного диалогового окна, в *главном* окне которого располагаются элементы управления, являющиеся общими для всех режимов работы. К ним относятся разделы *меню* **Файл**, **Режимы**, **Настройки**, **Сервис** и **Справка**. Кнопки **Справка** и **Выход** выполняют обычные для Windows-приложений функции запроса справочной информации и прекращения работы, соответственно. Назначение других кнопок описано ниже. Для возврата в *основное* окно программы во всех режимах используется кнопка **Меню**. Переход в режим работы по другим нормативным документам выполняется в главном окне путем выбора соответствующей строки в выпадающем списке.

5.2 Настройки приложения

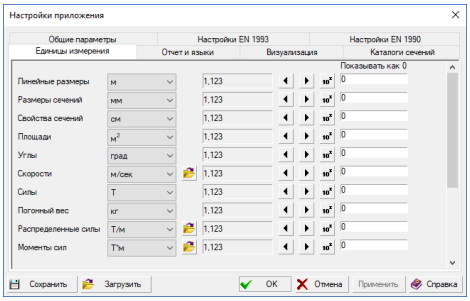


Рис. 5.2-1. *Диалоговое окно* **Настройки приложения**

Окно **Настройки приложения** (рис. 5.2-1) содержит следующие страницы: **Единицы измерения**, **Отчет и языки**, **Визуализация**, **Каталоги сечений**, **Общие параметры**, а также две страницы: **Настройки EN 1993** и **Настройки EN 1990**. Первые пять страниц аналогичны одноименным страницам режима проверки по СНиП и описаны выше.

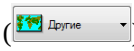
Страница **Настройки EN 1990** (рис. 5.2-3) позволяет выбрать коэффициенты сочетаний загружений в соответствии с рекомендациями EN 1990.

На странице **Настройки EN 1993** (рис. 5.2-2) реализован выбор частных коэффициентов надежности в соответствии с рекомендациями EN 1993-1-1 или в соответствии с национальными приложениями к Eurocode (NAD — National Application Documents). Кроме того, на этой странице предусмотрена возможность определить метод проверки общей устойчивости для сжато-изгибаемых элементов (выбрать соответствующее приложение A или B EN 1993-1-1), ограничить выполнение нормативных проверок в предположении упругих деформаций стали, задать параметр ρ_{lim} учета влияния потери устойчивости элементов сечения на жесткость конструкции в целом, выбрать метод учета сдвигового запаздывания для первой группы предельных состояний, задать параметры η для проверки устойчивости стенок на срез, а также определить набор используемых классов болтов (см. рис. 5.2-2).

Если значения частных коэффициентов надежности и других нормативных параметров расчета назначаются в соответствии с рекомендациями EN 1993-1-1, то в выпадающем списке следует выбрать строку с флагом ЕС (

), которая установлена по умолчанию. Для использования национальных приложений выбирается строка с флагом соответствующего государства. При этом численные значения соответствующих частных коэффициентов надежности и параметров нормативного расчета отображаются в таблице на странице **Настройки EN 1993**.

Если значения частных коэффициентов надежности или параметров нормативного расчета назначаются пользователем произвольно, тогда в выпадающем списке необходимо выбрать строку, помеченную как

Другие (

). Таким образом, обеспечивается возможность использования программы в нестандартных ситуациях, а также при изменениях, вносимых в NAD.

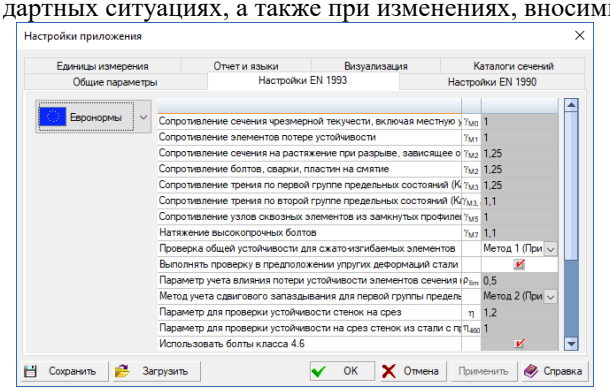


Рис. 5.2-2. *Страница* **Настройки EN 1993**

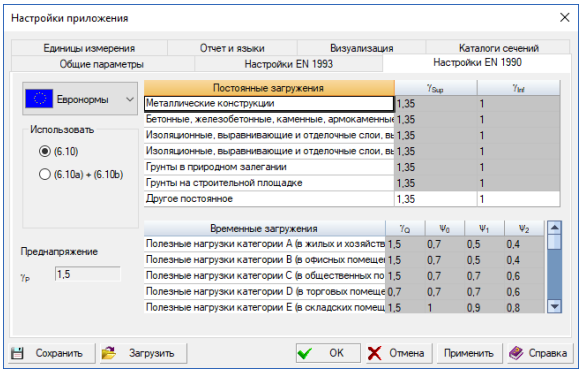
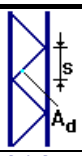
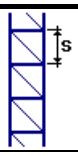
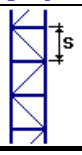
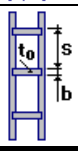


Рис. 5.2-3. *Страница* **Настройки EN 1990**

5.3 Конструирование поперечных сечений

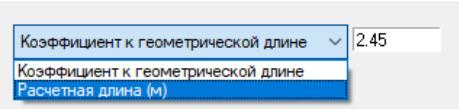
Операции выбора поперечного сечения элементов конструкций аналогичны соответствующим операциям, описанным в разделе 4.3. Отличия состоят только в наличии другого набора соединительных решеток для составных сечений. Перечень соединительных решеток и ограничения на выбор параметров решетки приведены в таблице 5.3-1.

Таблица 5.3-1. Ограничения на выбор параметров решетки

Схема	Ограничения	Схема	Ограничения
	$s \geq 2h$ $A_d < A$		$s \geq h$ $A_v < A$ $A_d < A$
	$s \geq h$ $A_d < A$		$s \geq b$
Примечания: h — расстояние между осями поясов; A — площадь пояса; A_d — площадь раскоса; A_v — площадь стойки.			

5.4 Задание расчетных длин

В некоторых режимах требуется задание данных о расчетных длинах конструктивных элементов. Во многих случаях в программе предусмотрено задание такого типа информации либо в виде коэффициента расчетной длины либо в виде расчетной длины. Переключение способа ввода данных осуществляется с помощью выпадающего списка, который расположен рядом с полем ввода:



5.5 Огнестойкость

В программе **Кристалл** реализован анализ огнестойкости отдельных незащищенных элементов стальных конструкций. Проверка производится методом критической температуры по EN 1993-1-2:2005. В методе предполагается, что при нагреве от пожара температура стали равномерно распределена по конструкции и ее критическое значение определяется тем запасом прочности, который имеет рассматриваемый элемент. Указанный запас прочности характеризуется коэффициентом использования несущей способности μ_0, физический смысл которого соответствует коэффициенту K_{max}. С учетом μ_0 критическая температура вычисляется по формуле

$$\theta_{a,cr} = 30{,}19 \ln\left(\frac{1}{0{,}967\mu_0^{3{,}833}} - 1\right) + 482.$$

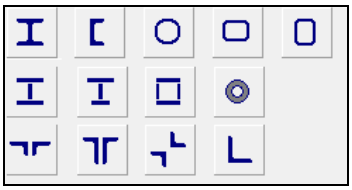
Значение μ_0 в соответствии с пунктом 2.4.2 (2) EN 1993-1-2:2005 допускается определять с помощью понижающего коэффициента η_{fi} для расчета уровня нагружения в условиях пожара по сравнению с уровнем нагружения действовавшего в момент времени $t = 0$ до начала пожара.

Программа определяет значение коэффициента использования несущей способности K_{max} от комбинации нагрузок, которая включает только значения постоянных и длительно действующих нагрузок на момент $t = 0$ (квазипостоянная комбинация). Следовательно:

$$\mu_0 = 0{,}65K_{max}.$$

Вычисление квазипостоянных комбинаций в режимах *Стойки* и *Балки* производится автоматически. В режиме *Сопротивление сечений* пользователь должен использовать маркер **Пожар** для тех загружений, которые соответствуют квазипостоянным сочетаний. При импорте данных из файлов типа rsu2 маркеры **Пожар** будут выставлены автоматически.

Расчет огнестойкости реализован в режимах *Сопротивление сечений, Стойки, Балки* для следующих типов сечений:



Результатами расчета являются критическая температура, время достижения этой температуры, а также графики изменений температуры воздуха и температуры стали. Кроме того, выводится приведенная толщина (отношение площади сечения к обогреваемому периметру) и собственный предел огнестойкости (время достижения температуры 500°C, при которой начинается существенное изменение прочности и деформативности — см. таблицу 6 *Пособия по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты.* М. 2013). Результаты представлены на отдельной странице **Огнестойкость** (рис. 5.5-1)

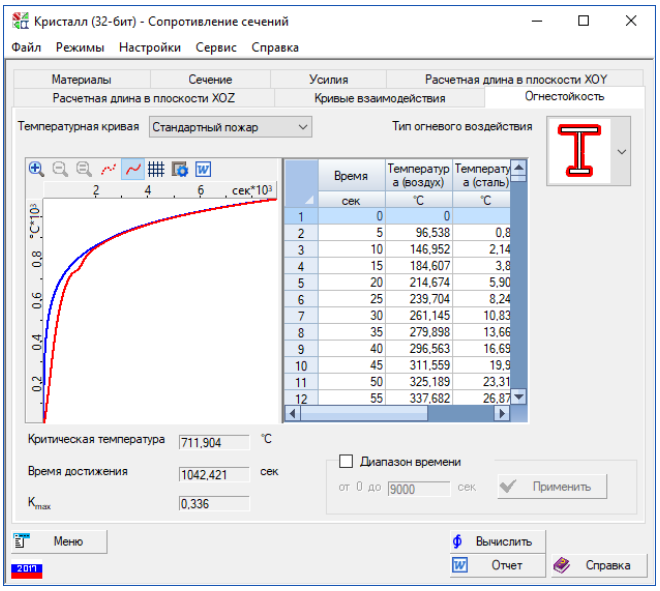


Рис. 5.5-1. *Страница* **Огнестойкость**

Расчет выполняется на один из четырех вариантов нагрева конструкции (рис. 5.5-2):

- стандартный пожар;
- углеводородный пожар;
- внешний пожар;
- тлеющий пожар.

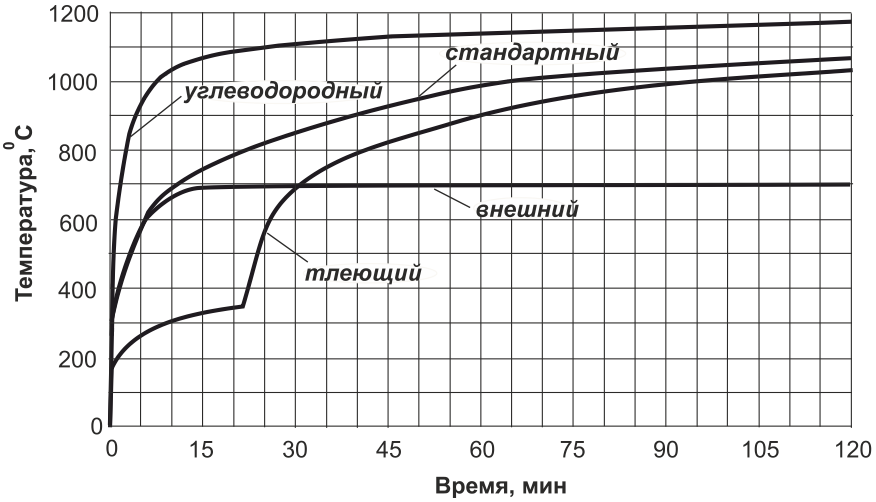


Рис. 5.5-2. *Температурные кривые*

Тип пожара выбирается из соответствующего выпадающего списка на странице **Огнестойкость**. Кроме того, предусмотрен анализ вариантов по типу огневого воздействия:

- нагрев с четырех сторон для всех поперечных сечений;
- нагрев с трех сторон для всех сечений кроме сечений из уголков и для трубчатого сечения.

Возрастание температуры стали при нагреве рассчитывается с учетом изменения теплопроводности и удельной теплоемкости стали (рис. 5.5-3).

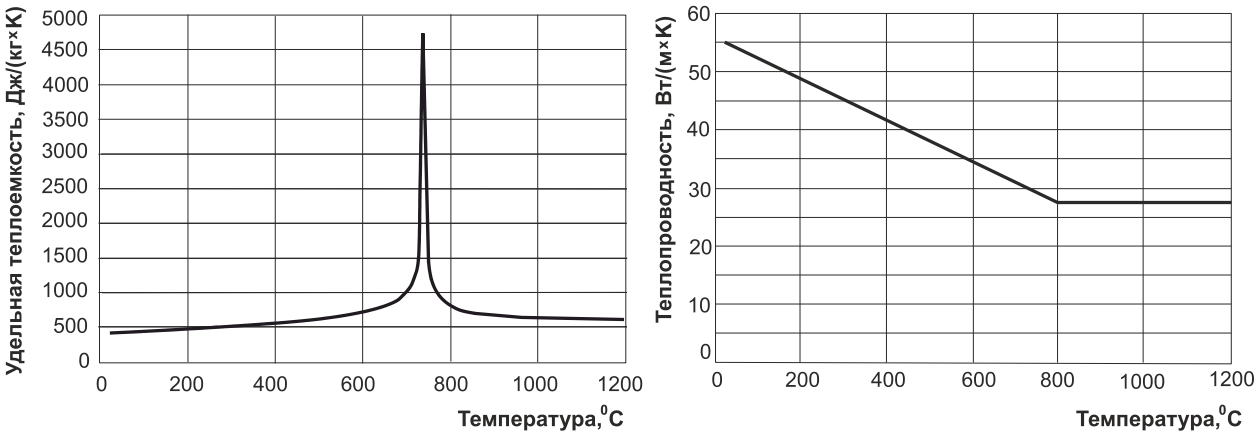


Рис. 5.5-3. *Изменение теплотехнических свойств стали*

5.6 Дополнительные настройки

Во многих режимах рядом с иконкой, которая указывает на выбранные нормы проектирования, расположена кнопка , которая позволяет активизировать специальное диалоговое окно для задания дополнительных ограничений, которые должны быть использованы при подборе сечений стальных элементов (рис. 5.6-1).

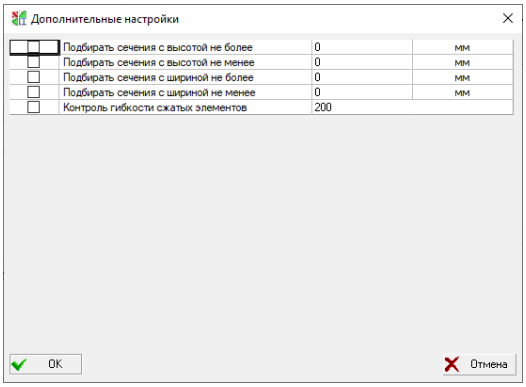


Рис. 5.6-1. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

В частности, в этом окне можно задать ограничения на высоту сечения и/или ширину сечения.

Контроль гибкости сжатых элементов

Данный маркер предназначен для того, чтобы программа производила анализ гибкости сжатых элементов. После его активации можно указать величину предельно допустимой гибкости (по умолчанию — 200).

5.7 Справочные режимы

5.7.1 Сталь

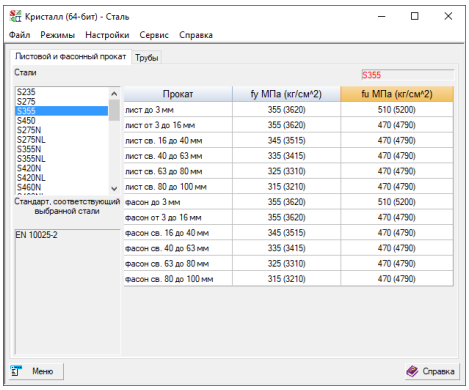


Рис. 5.7.1-1. *Страница* **Листовой и фасонный прокат** *диалогового окна* **Сталь**

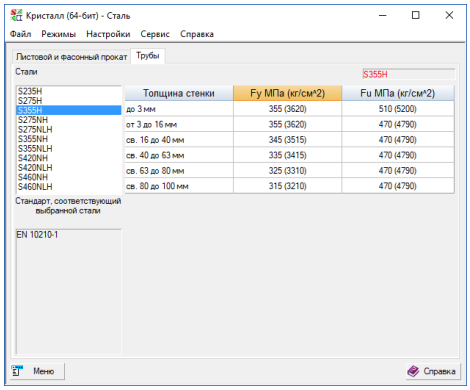


Рис. 5.7.1-2. *Страница* **Трубы** *диалогового окна* **Сталь**

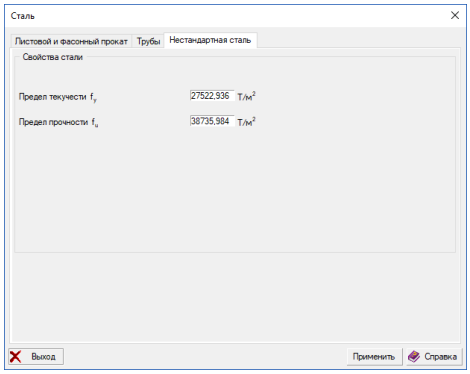


Рис. 5.7.1-3. *Страница* **Нестандартная сталь** *диалогового окна* **Сталь**

Режим **Сталь** может использоваться как информационный для получения данных о сталях различных марок и изготавливаемых из них прокате и трубах (в этом случае он вызывается из главного окна), а также для назначения марки стали при проверке элементов стальных конструкций. Во втором случае режим вызывается из соответствующего расчетного режима.

В информационном режиме используется двухстраничное диалоговое окно **Сталь** (рис. 5.7.1-1), первая страница которого **Листовой и фасонный прокат** содержит информацию о сталях, используемых для листового и фасонного проката, а вторая **Трубы** (рис. 5.7.1-2) содержит информацию о сталях, используемых для труб.

На каждой странице помещен список марок сталей и таблица со справочными данными, которые включают данные о толщинах проката или стенок труб, а также характеристические значения предела текучести (f_y) и предела прочности (f_u), соответствующие выбранной в списке марке стали. Под списком марок сталей указывается стандарт, к которому относится выбранная марка.

При вызове режима **Сталь** из расчетных режимов нажатием кнопки

к указанным выше страницам добавляется третья – **Нестандартная сталь** (рис. 5.7.1-3), на которой можно задать отличные от стандарта значения предела текучести и предела прочности.

Фиксация выбранной в списке марки стали или заданных параметров стали выполняется нажатием кнопки **Применить**, после чего эти данные будут использованы при проверке несущей способности.

5.7.2 Сортамент металлопроката

Этот режим дает возможность просмотра сортаментов металлопроката, представленных в базе данных программы и описан в разделе 4.7.2.

5.7.3 Болты

В данном информационном режиме предоставляются справочные данные о механических свойствах болтов, а также максимально допустимые усилия и минимальные разрушающие нагрузки согласно EN ISO 898-1:1999-12 (см. рис. 5.7.3-1 и 5.7.3-2).

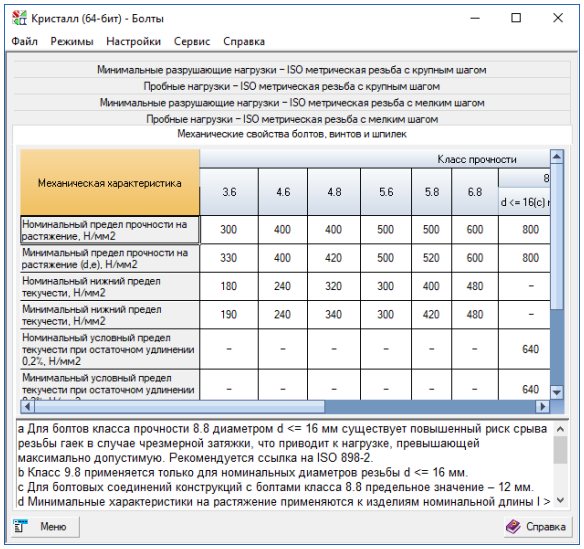


Рис. 5.7.3-1. *Страница* **Механические свойства болтов, винтов и шпилек** *режима* **Болты**

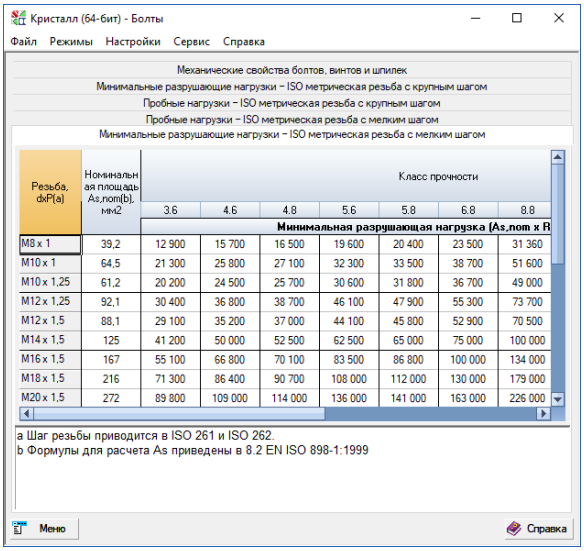


Рис. 5.7.3-2. *Страница* **Минимальные разрушающие нагрузки** *режима* **Болты**

5.8 Вспомогательные режимы

5.8.1 Сопротивление сечений

В режиме **Сопротивление сечений** реализована процедура определения несущей способности стержневых элементов стальных конструкций. Типы поперечных сечений, реализованные в данном режиме, представлены на рис. 5.8.1-1. Реализован весь комплекс проверок по прочности и устойчивости согласно соответствующим разделам EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-5:2005.

Кроме того, в данном режиме для сечений из прокатных профилей или составных сечений из прокатных профилей выполняется их подбор. При этом поисковая задача формулируется в ограниченной постановке как целенаправленный перебор по списку возможных конструктивных решений (по списку сортамента профилей металлопроката).

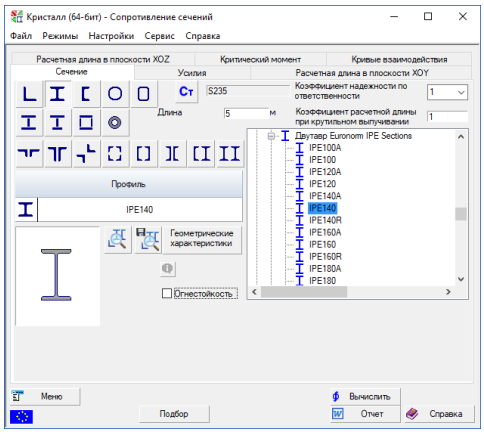


Рис. 5.8.1-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Сопротивление сечений**

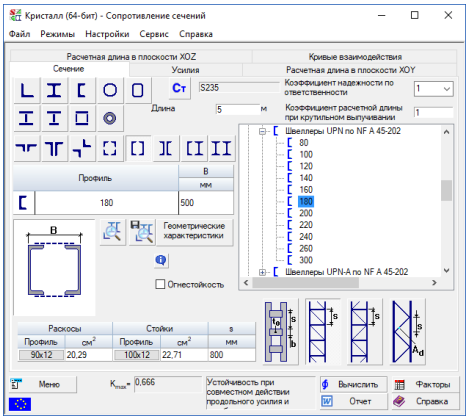


Рис. 5.8.1-2. *Страница* **Сечение**, выбор параметров соединительной решетки

Главное окно режима содержит шесть страниц: **Сечение**, **Усилия**, **Расчетная длина в плоскости XoY**, **Расчетная длина в плоскости XoZ**, **Критический момент**, **Кривые взаимодействия**.

На странице **Сечение** (рис. 5.8.1-1) представлен набор кнопок для выбора типа поперечного сечения. Для сварных, составных и сквозных сечений выводится эскиз сечения с обозначением размеров и открываются поля для их ввода. Здесь же приводятся единицы измерения, которыми следует пользоваться при назначении размеров сечения.

Для сквозных сечений предусмотрены кнопки для выбора вида соединительной решетки. Нажатие такой кнопки приводит к появлению детального изображения решетки с обозначением размеров, значения которых вводятся в соответствующие поля (рис. 5.8.1-2).

Кнопка **Геометрические характеристики** используется для вызова окна отображения вычисленных значений геометрических характеристик сконструированного сечения.

Выбранное сечение может быть сохранено в каталоге **Пользовательские сечения** (кнопка **Сохранить**), доступ к которому осуществляется по нажатии кнопки .

На этой странице размещена также кнопка , с помощью которой производится выбор стали. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1.

На этой же странице в соответствующих полях необходимо задать длину конструктивного элемента, а также коэффициент его расчетной длины при крутильном выпучивании.

Кроме того, в поле **Коэффициент надежности по ответственности** ввести соответствующий коэффициент, на который в дальнейшем будут умножены значения всех внутренних усилий для всех расчетных комбинаций нагружений, действующих в рассматриваемом сечении. В том случае, когда значения внутренних усилий для сечения получены по результатам анализа системы уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (например, когда расчетные значения прикладываемых нагрузок были получены с учетом данного коэффициента), в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо выбрать значение равное единице.

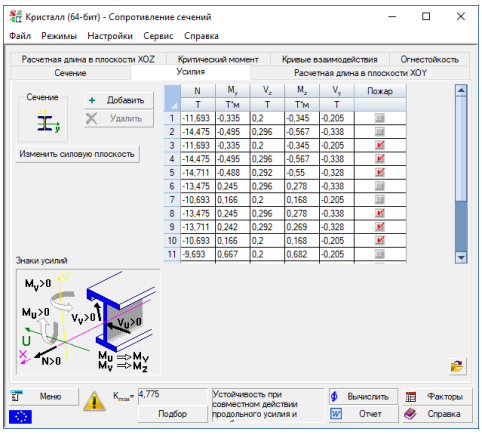


Рис. 5.8.1-3. *Страница* **Усилия** *режима* **Сопротивление сечений**

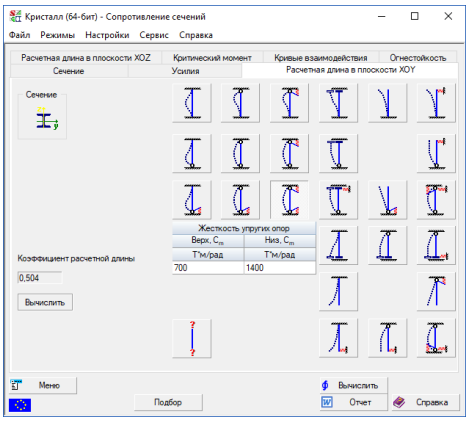


Рис. 5.8.1-4. *Страница* **Расчетные длины** *режима* **Сопротивление сечений**

Страница **Усилия** (рис. 5.8.1-3) предназначена для ввода усилий, действующих в поперечном сечении элемента. На ней представлена схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции, а также условная схема с обозначением положительных направлений усилий.

Для всех представленных типов поперечных сечений реализованы проверочные расчеты для общего случая нагружения, т.е. на действие продольной силы, двух изгибающих моментов и двух поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции. Проверочные расчеты выполняются на действие любого количества загружений. Таблица внутренних усилий (каждая строка которой соответствует определенному загружению) может быть задана путем импорта расчетных сочетаний усилий из вычислительного комплекса **SCAD**, реализуемого при нажатии кнопки .

Страницы **Расчетная длина в плоскости ...** (рис. 5.8.1-4) предназначены для определения расчетных длин при изгибном выпучивании стержня. Они содержат группу кнопок с изображением расчетных схем сжатого стержневого элемента, отличающихся друг от друга комбинациями граничных условий (свободный конец, шарнир, упругое опирание, упругое защемление, полное защемление).

Если выбирается вариант с упругим опиранием или с упругим защемлением, то открывается доступ к таблице для ввода данных о податливости соответствующей связи.

Коэффициенты $k = l / L$ представляют собой отношение расчетной длины l к геометрической длине стержня L в различных плоскостях и отображаются в соответствующих полях результатов.

При нажатии кнопки пользователь получает возможность ввести собственные значения k в поля с результатами и подтвердить свой выбор нажатием кнопки **Применить**. Во всех остальных случаях эти поля не допускают ввода данных.

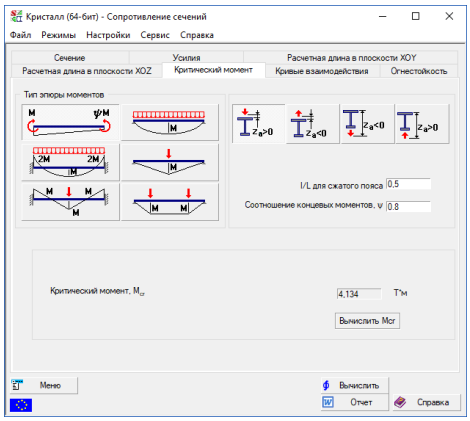


Рис. 5.8.1-5. *Страница* **Критический момент** *режима* **Сопротивление сечений**

Страница **Критический момент** (рис. 5.8.1-5) предназначена для определения критического изгибающего момента балок, используемого в дальнейшем в проверке устойчивости плоской формы изгиба. Вычисление критического момента выполняется с использованием аналитического решения, приведенного в приложении NAD Франции к EN 1993-1-1, в зависимости от характера эпюры изгибающего момента, приложения нагрузки по отношению к центру сдвига сечения, а также в зависимости от асимметрии сечения относительно оси большей жесткости. Вычисления выполняются только для поперечных сечений, симметричных относительно оси меньшей жесткости при их изгибе относительно оси большей жесткости. Кроме того, EN 1993-1-1 ограничивает использование этого метода проверки для тех сечений, для которых характерен существенный поворот главных осей инерции «эффективного» сечения по отношению к главным осям инерции поперечного сечения брутто.

Соответствующие ограничения введены и в программе.

Если выбрано сечение другого типа, то эта страница не появляется и предполагается, что устойчивость плоской формы изгиба обеспечена соответствующими закреплениями.

Кроме того для вычисления критического момента следует задать два коэффициента эффективной длины, зависящих от закрепления торцевых сечений: коэффициент k, зависящий от поворота торцевых сечений, и коэффициент k_w, который характеризует ограничение депланаций сечения. Рекомендации по назначению коэффициентов k, k_w для некоторых частных случаев можно найти в книгах

L. Gardner, *Stability of Steel Beams and Columns: In Accordance with Eurocodes and the UK National Annexes*, Steel Construction Institute, 2011.

N.Boissonnade, R.Greiner, J.P.Jaspart, J.Lindner, *Rules for member stability in EN 1993-1-1 : Background documentation and design guidelines*, ECCS European Convention for Constructional Steelwork, 2006.

Для определения критического момента необходимо задать тип эпюры моментов, выбрав его из предлагаемых в приложении NAD Франции к EN 1993-1-1 шести вариантов. Если выбран первый вариант, то следует также задать параметр ψ, характеризующий соотношение концевых моментов. В поле **l/L для сжатого пояса** необходимо ввести коэффициент расчетной длины для проверки устойчивости плоской формы изгиба. Кроме того, задается расстояние от точки приложения нагрузок до уровня верхнего пояса z_a. Знак z_a назначается в соответствии с приведенной на странице схемой.

Нажатие кнопки **Вычислить M_{cr}** реализует вычисление критического момента M_{cr}.

Дальнейшие действия зависят от типа сечения по схеме, представленной на рис. 5.8.1-6, где приводится информация по учету M_{cr} для сечений различного типа.

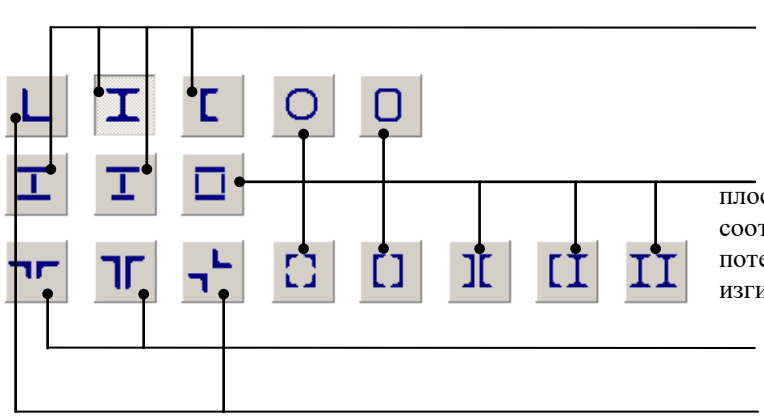


Рис. 5.8.1-6. Реакция режима **Критический момент** на тип сечения

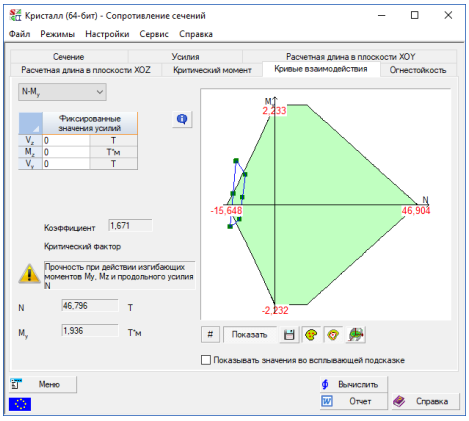


Рис. 5.8.1-7. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Сопротивление сечений**

После нажатия кнопки **Вычислить** выводится результат расчета – значение K_{max} (максимального из обнаруженных коэффициентов использования нормативных ограничений). Одновременно в поле **Критический фактор** появляется сообщение о типе проверки (на прочность, устойчивость, местную устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался. При нажатии кнопки **Подбор** выполняется автоматический подбор сечения, реализованный как целенаправленный перебор по списку сортамента профилей металлопроката.

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 5.8.1-7) можно построить кривые, ограничивающие область несущей способности сечения при действии на него различных пар усилий, которые могут быть приложены к рассматриваемому сечению.

Для построения кривых взаимодействия необходимо выбрать в списке пару усилий и нажать кнопку **Показать** (подробнее см. раздел 4.9.1).

Набор проверок в соответствие с EN 1993-1-1 определяется типом внутренних усилий, действующих в расчетном сечении элемента, типом поперечного сечения элемента, а также классом сечения. В режиме **Сопротивление сечений** реализованы следующие классы сечений:

- 2 класс сечений – сечения, работающие в пределах упруго-пластических деформаций стали;
- 3 класс сечений – сечения работающие в пределах упругих деформаций стали, при этом элементы сечения не теряют местной устойчивости;
- 4 класс сечения – сечения, элементы которого теряют местную устойчивость.

Одним из характерных отличий в расчетах несущих элементов стальных конструкций в соответствие с EN 1993-1-1 является возможность их работы после местной потери устойчивости сжатых элементов сечения. При вычислении геометрических характеристик поперечных сечений в режиме **Сопротивление сечений** используется концепция «эффективной ширины», реализуемая в виде уравнения Винтера с соответствующими модификациями, касающимися учета градиента напряжений в сжатых элементах сечения, а также условий опирания согласно EN 1993-1-5.

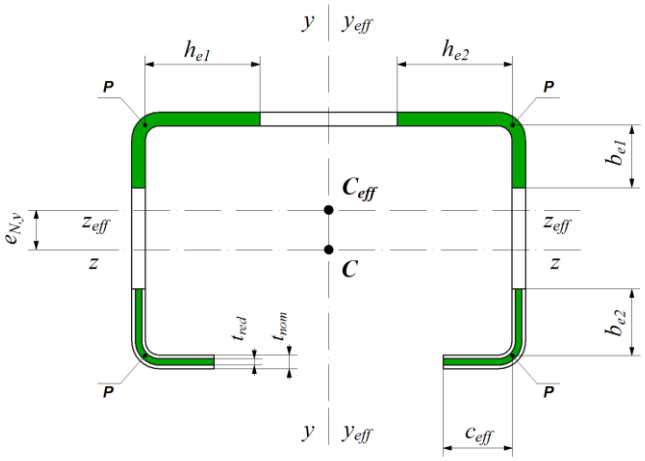


Рис. 5.8.1-8. «Эффективное» поперечное сечение

Общий алгоритм нормативного расчета несущей способности стержневых элементов конструкций включает расчет «эффективных» ширин сжатых элементов сечения, учитывающих местную потерю устойчивости (рис. 5.8.1-8). При этом, в том случае, когда положение центра масс эффективного поперечного сечения не совпадает с положением центра масс поперечного сечения брутто, тогда в последующих проверочных расчетах учитывается смещение центра масс. Указанное смещение учитывается путем увеличения изгибающих моментов, действующих в рассматриваемом расчетном сечении.

Список проверок, выполняемых в режиме **Сопротивление сечений**, представлен в таблице 5.8.1-1, там же указаны и пункты EN 1993-1-1 и EN 1993-1-5, в соответствии с которыми эти проверки реализованы (полный перечень результатов этих проверок приводится в отчетном документе).

Таблица 5.8.1-1. Список проверок сечений по EN 1993-1-1 и EN 1993-1-5

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-5
Прочность при действии продольной силы N растяжения	6.2.3 (6.5), (6.6)	
Прочность при действии продольной силы N сжатия	6.2.4 (6.9)…(6.11)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии изгибающего момента M_y	6.2.5 (6.12)…(6.15)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии изгибающего момента M_z	6.2.5 (6.12)…(6.15)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии поперечной силы V_z	6.2.6 (6.17)…(6.20)	
Прочность при действии поперечной силы V_y	6.2.6 (6.17)…(6.20)	
Прочность при действии изгибающего момента M_z и поперечной силы V_y	6.2.5 (6.12)…(6.15), 6.2.8 (6.29), (6.30)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии изгибающего момента M_y и поперечной силы V_z	6.2.5 (6.12)…(6.15), 6.2.8 (6.29), (6.30)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии изгибающего момента M_y и продольного усилия N	6.2.5 (6.12)…(6.15), 6.2.9 (6.36)…(6.44)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Прочность при действии изгибающих моментов M_y, M_z, продольного усилия N и поперечных сил V_z и V_y	6.2.5 (6.12)…(6.15), 6.2.9 (6.36)…(6.44), 6.2.10 (6.45)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси y-y при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.51)	
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси z-z при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.51)	
Устойчивость при изгибно-крутильном и крутильном выпучивании при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.49), 6.3.1 (6.52), (6.53)	
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_y	6.3.2 (6.54)...(6.56)	

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-5
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_z	6.3.2 (6.54)...(6.56)	
Устойчивость при совместном действии продольного усилия и изгибающих моментов	6.3.3 (6.61), (6.62)	
Устойчивость при совместном действии продольного усилия и изгибающих моментов с учетом выпучивания плоской формы изгиба	6.3.3 (6.61), (6.62)	
Устойчивость стенки при действии поперечной силы V_z		5.2 (5.1), (5.2), 5.3 (5.3)...(5.6), 5.4 (5.8), (5.9), 5.5 (5.10)
Устойчивость стенки при действии поперечной силы V_y		5.2 (5.1), (5.2), 5.3 (5.3)...(5.6), 5.4 (5.8), (5.9), 5.5 (5.10)

Выполняются проверки только поперечного сечения элемента.

В режиме **Сопротивление сечений** не предусмотрены следующие проверки:

- ослабленных сечений, в которых имеются отверстия для болтов;
- элементов соединительных решеток в сечениях сквозного типа;
- устойчивости стенок с учетом их подкрепления ребрами жесткости для двутавровых, швеллерных и коробчатых элементов.

5.8.2 Болтовые соединения

Расчетный режим программы **Болтовые соединения** предназначен для определения несущей способности болтовых соединений. Реализованные в этом режиме конструктивные решения болтовых соединений относятся к наиболее часто используемым в практике проектирования.

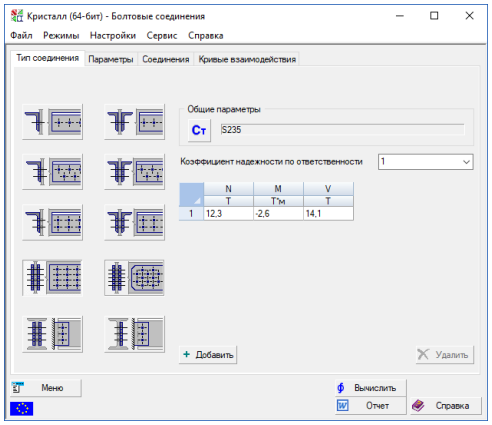


Рис. 5.8.2-1. *Страница* **Тип соединения** *режима* **Болтовые соединения**

Страница **Тип соединения** (рис. 5.8.2 -1) содержит группу кнопок для выбора вида болтового соединения, а также таблицу для ввода значений усилий, действующих в соединении (предполагается, что точкой приложения усилий является центр тяжести сечения).

На этой странице размещена также кнопка

, с помощью которой производится выбор стали. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1.

Кроме того, в поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо задать соответствующий коэффициент, на который в дальнейшем будут умножены значения всех внутренних усилий, действующих в соединении, для всех расчетных комбинаций нагружений. В том случае, когда значения внутренних усилий для соединения получены по результатам анализа системы уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (например, когда расчетные значения прикладываемых нагрузок были получены с учетом данного коэффициента), в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо выбрать значение равное единице.

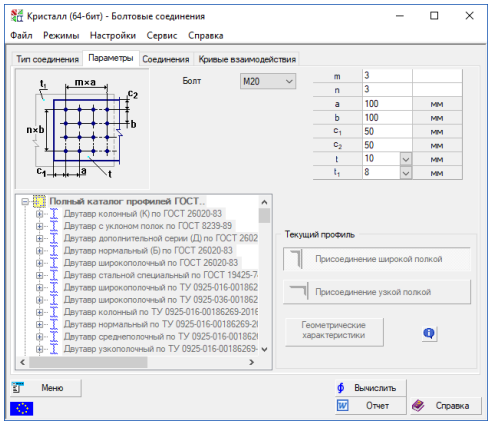


Рис. 5.8.2-2. *Страница* **Параметры** *режима* **Болтовые соединения**

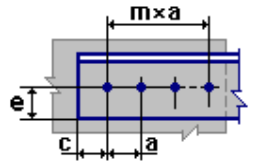
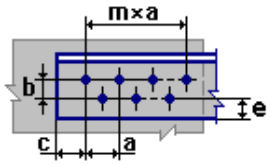
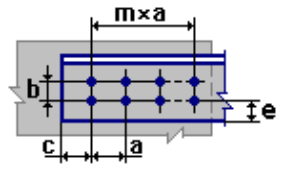
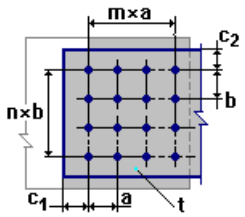
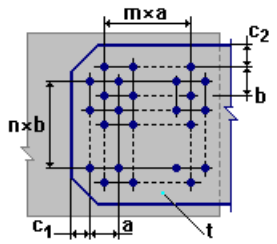
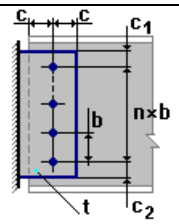
Страница **Параметры** (рис. 5.8.2-2) включает поля ввода значений параметров конструктивного решения. В тех случаях, когда рассматривается стык прокатного профиля (уголка или двутавра), предусмотрена возможность доступа к базе данных прокатных профилей.

При расчете болтовых соединений диаметр болта выбирается из выпадающего списка.

Исходные данные проверяются на соответствие требованиям пунктов 3.5(1) и 3.5(2), а также табл. 3.3 EN 1993-1-8, регламентирующих расположение болтов. При этом диаметр отверстия для болта d_0 принимался больше диаметра болта на 1 мм для болтов от М12 до М14, на 2 мм – для болтов от М16 до М24 и на 3 мм – для болтов М27 и больших.

Для болтовых соединений проверка элементов, к которым крепятся уголки и накладки, как правило, не выполняется. Исключение составляет опирание двутавра (нижняя кнопка в группе).

Таблица 5.8.2-1. Болтовые соединения

Эскиз узла	Контроль исходных данных	Обозначения
	$e + 5(d_0 - 3\text{ мм})/3 \le b_L - t_L$ $4\,t_L + 40\text{ мм} \ge c \ge 1{,}2\,d_0$ $\min(14\,t_L;\ 200\text{ мм}) \ge a \ge 2{,}2\,d_0$ $(b_L - t_L)/2 \ge 1{,}5\,d_0$ $e \ge 1{,}2\,d_0$	d_0 – диаметр отверстия для болта t_L – толщина уголка b_L – ширина уголка
	$e + b + 5(d_0 - 3\text{ мм}) / 3 \le b_L - t_L$ $b \ge 2{,}2\,d_0;\ e \ge 1{,}2\,d_0$ $4\,t_L + 40\text{ мм} \ge c \ge 1{,}2\,d_0$ $\min(14\,t_L;\ 200\text{ мм}) \ge a \ge 2{,}2\,d_0$ $\min(14\,t_L;\ 200\text{ мм}) \ge b \ge 2{,}4\,d_0$ $(b_L - t_L - b) / 2 \ge 1{,}5\,d_0$	
	$e + b + 5(d_0 - 3\text{ мм}) / 3 \le b_L - t_L$ $b \ge 3{,}0\,d_0;\ e \ge 1{,}2d_0$ $4\,t_L + 40\text{ мм} \ge c \ge 1{,}2\,d_0$ $\min(14\,t_L;\ 200\text{ мм}) \ge a \ge 2{,}2\,d_0$ $\min(14\,t_L;\ 200\text{ мм}) \ge b \ge 2{,}4\,d_0$ $(b_L - t_L - b)/2 \ge 1{,}5\,d_0$	
	$4\,t + 40\text{ мм} \ge c_1 \ge 1{,}2\,d_0$ $4\,t + 40\text{ мм} \ge c_2 \ge 1{,}5\,d_0$ $\min(14\,t;\ 200\text{ мм}) \ge a \ge 2{,}2\,d_0$ $\min(14\,t;\ 200\text{ мм}) \ge b \ge 2{,}4\,d_0$	t – толщина накладки
	$4\,t + 40\text{ мм} \ge c_1 \ge 1{,}2\,d_0$ $4\,t + 40\text{ мм} \ge c_2 \ge 1{,}5\,d_0$ $\min(14\,t;\ 200\text{ мм}) \ge a \ge 2{,}2\,d_0$ $\min(14\,t;\ 200\text{ мм}) \ge b \ge 2{,}4\,d_0$	
	$c \ge 1{,}2\,d_0$ $c_1 \ge 1{,}5\,d_0$ $c_2 \ge 1{,}5\,d_0$ $\min(14\,t;\ 200\text{ мм}) \ge b \ge 2{,}2\,d_0$ $c1 + c2 + n\,b \le h_w$	

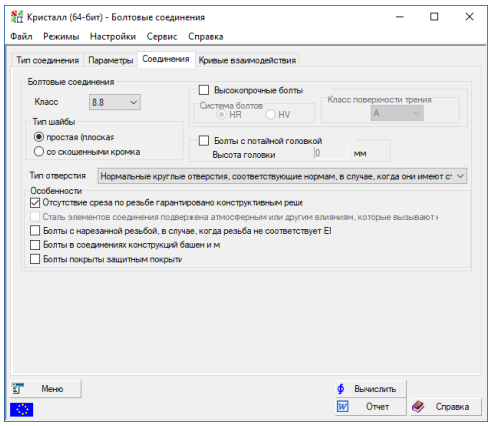


Рис. 5.8.2-3. *Страница* **Соединения** *режима* **Болтовые соединения**

На странице **Соединения** предусмотрена возможность учета специфики болтовых соединений, а именно задается класс болтов, тип шайбы, тип отверстия и т.д. В том случае, когда болтовые соединения выполняются на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением задается класс поверхности трения.

Контроль исходных данных выполняется по правилам, приведенным в таблице 5.8.2-1.

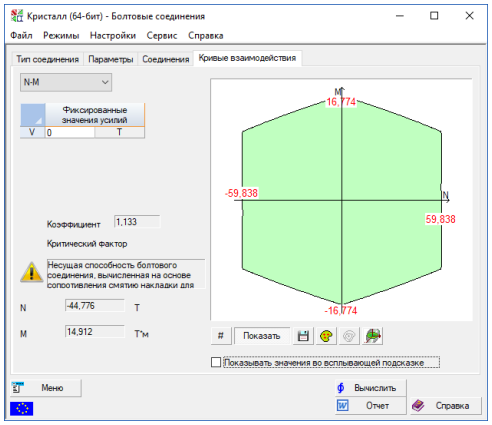


Рис. 5.8.2-4. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Болтовые соединения**

После завершения ввода исходных данных и нажатия кнопки **Вычислить** выполняется расчет соединения.

Кривые взаимодействия строятся на одноименной странице (рис. 5.8.2-4) по правилам, описанным в разделе 4.9.1.

Списки проверок для болтовых соединений представлены в таблице 5.8.2-2, там же указаны и пункты EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8, в соответствии с которыми эти проверки реализованы (полный перечень результатов этих проверок имеется в отчетном документе).

Таблица 5.8.2-2. Список проверок сопротивления болтовых соединений

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-8	Ссылка на EN 1993-1-1
Смятие уголка	3.6.1, табл. 3.4	
Прочность болтов на срез	3.6.1, табл. 3.4	
Смятие фланца	3.6.1, табл. 3.4	
Смятие стенки	3.6.1, табл. 3.4	
Прочность фланца по сечению нетто		6.2.3(4) (6.8), 6.2.5(4) (6.16)
Прочность стенки по сечению нетто		6.2.3(4) (6.8), 6.2.5(4) (6.16)

5.8.3 Сварные соединения

Расчетный режим программы **Сварные соединения** предназначен для определения несущей способности сварных соединений. Реализованные в этом режиме конструктивные решения сварных соединений относятся к наиболее часто используемым в практике проектирования.

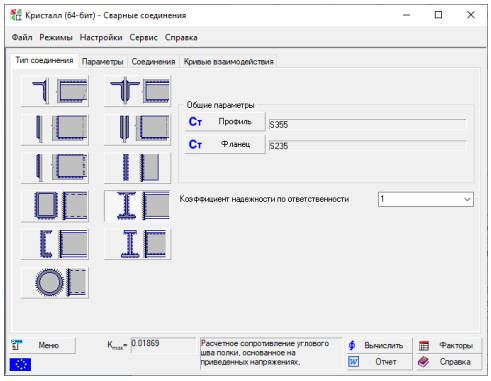


Рис. 5.8.3-1. *Страница* **Тип соединения** *режима* **Сварные соединения**

Страница **Тип соединения** (рис. 5.8.3-1) содержит группу кнопок для выбора вида сварного соединения.

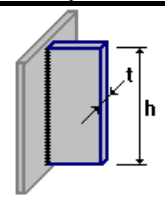
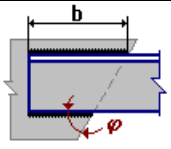
На этой странице размещена также кнопки

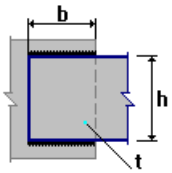
, с помощью которой производится выбор сталей свариваемых элементов. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1.

Кроме того, в поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо задать соответствующий коэффициент, на который в дальнейшем будут умножены значения всех внутренних усилий, действующие на соединение, для всех расчетных комбинаций нагружений (предполагается, что точкой приложения усилий является центр тяжести сечения). В том случае, когда значения внутренних усилий для соединения получены по результатам анализа системы уже с учетом коэффициента надежности по ответственности, в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо выбрать значение равное единице.

Для сварных соединений проверяется соответствие требованиям пунктов 4.5.1(1) и 4.5.1(2), и при их нарушении выдается сообщение о невозможности использования соединения в связи с малой длиной швов. Контроль исходных данных выполняется по правилам, приведенным в таблице 5.8.3-1.

Таблица 5.8.3-1. Сварные соединения

Эскиз узла	Контроль исходных данных	Обозначения
	h > 20 мм c_w < 1,2 t	t_L – толщина уголка b_L – ширина примыкающей полки c_w – катет шва t_w – толщина стенки двутавра
	b > 40 мм 30° ≤ φ ≤ 90° c_w < 1,2 t	t – толщина накладки

Эскиз узла	Контроль исходных данных	Обозначения
	$b > 20$ мм $c_w < 1{,}2\ t$ $h / b > 0{,}1$	
	$c_w < 1{,}2\ t_w$	

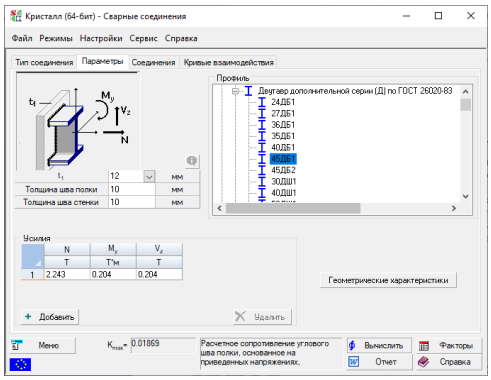


Рис. 5.8.3-2. *Страница* **Параметры** *режима* **Сварные соединения**

Страница **Параметры** (рис. 5.8.3-2) включает поля ввода значений параметров конструктивного решения. В тех случаях, когда рассматривается стык прокатного профиля (уголка или двутавра), предусмотрена возможность доступа к базе данных прокатных профилей. Для неравнополочных уголков с помощью кнопок-маркеров указывается полка (узкая или широкая), которой выполняется присоединение уголка.

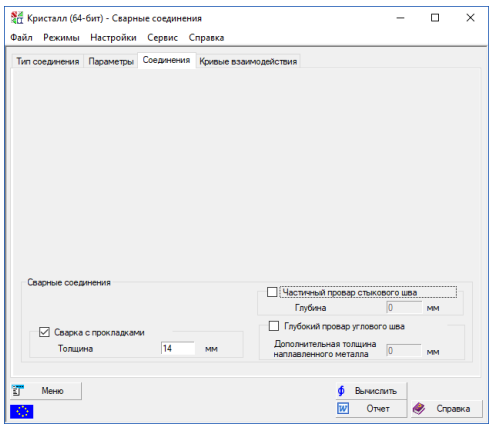


Рис. 5.8.3-3. *Страница* **Соединения** *режима* **Сварные соединения**

На странице **Соединения** предусмотрена возможность учета специфики сварных соединений, а именно частичного провара стыкового шва или глубокого провара углового шва (рис. 5.8.3-3). В том случае, когда сварные соединения выполняются с прокладками, предусмотрена возможность задать ее толщину.

Кривые взаимодействия строятся на одноименной странице по правилам, описанным в разделе 4.9.1.

Списки проверок для сварных соединений представлены в таблице 5.8.3-2, там же указаны и пункты EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8, в соответствии с которыми эти проверки реализованы (полный перечень результатов этих проверок имеется в отчетном документе).

Таблица 5.8.3-2. Список проверок сопротивления сварных соединений

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-8	Ссылка на EN 1993-1-1
Прочность уголка по сечению нетто		6.2.3(4) (6.8), 6.2.5(4) (6.16)
Полное сопротивление углового шва	4.5.3.2 (4.1)	
Сопротивление углового шва в направлении, перпендикулярном оси шва	4.5.3.2 (4.1)	

5.8.4 Огибающие

Это окно предназначено для решения частной задачи: определение невыгодных сочетаний многих нагрузок, действующих на изгибаемые элементы.

В данном режиме формирование расчетных комбинаций осуществляется в соответствии с положениями пп. 6.4.3.2…6.4.3.4 EN 1990.

При формировании комбинаций нагрузок для установившихся или переходных расчетных ситуаций (фундаментальных комбинаций) используется формула (6.10) EN 1990 или, в качестве альтернативы, предлагаемой EN 1990, формулы (6.10a) и (6.10b) EN 1990. Какой вариант будет использован определяется в соответствие с выбором пользователя, который осуществляется на странице **Настройки EN 1990** окна **Настройки приложения** (см. раздел 5.2).

Используемые при формировании расчетных комбинаций коэффициенты сочетаний ψ_i, а также коэффициенты $\gamma_{G,inf}$, $\gamma_{G,sup}$ и γ_Q принимаются согласно Приложению A1 EN 1990. Значения данных коэффициентов также приводятся на странице **Настройки EN 1990** окна **Настройки приложения** (см. раздел 5.2) и могут быть изменены пользователем путем выбора в выпадающем списке опции **Другие**.

Необходимо отметить, что в числе переменных нагрузок присутствует и полностью нулевая, реализующая возможность отсутствия всех переменных нагрузок. Поэтому при подсчете максимальных значений (например, моментов) учитывается наибольшее из числа положительных моментов и нулевого значения, а при определении минимальных значений — наименьшее из отрицательных моментов и нуля.

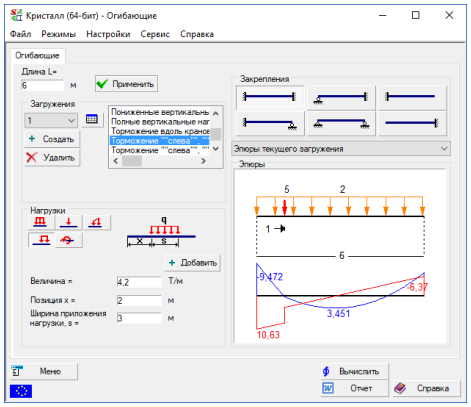


Рис. 5.8.4-1. *Диалоговое окно* **Огибающие**

В диалоговом окне **Огибающие** (рис. 5.8.4-1) задается пролет балки. С помощью кнопок выбирается один из способов опирания – двухстороннее защемление; шарнирное опирание с двух сторон; шарнир с одной стороны и защемление с другой или консольная схема.

Перед вводом очередного загружения (включая первое) следует нажать кнопку **Создать** в группе **Нагрузки**. После этого в списке видов загружения необходимо выбрать вид рассматриваемого загружения: (Постоянные, Полезные нагрузки различной категории, Снеговые нагрузки, Другие временные и т.д.). Вид загружения определяет коэффициенты сочетаний, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения при определении расчетных комбинации нагружений для первой и второй групп предельных состояний.

При вводе нагрузок используются пять кнопок, которые указывают тип нагрузки (распределенная по пролету, сосредоточенная сила, сосредоточенный момент, трапециевидная и равномерно распределенная на части пролета). При нажатии соответствующей кнопки открываются поля для ввода характеристик нагрузок:

- для распределенных нагрузок — интенсивность нагрузки;
- для сосредоточенной силы — величина силы и ее положение в пролете;

- для трапециевидной нагрузки — значение нагрузки в начале области приложения, расстояние от начала стержня до начала области приложения, ширина области приложения нагрузки, величина нагрузки в конце области действия;
- для нагрузки, распределенной на часть пролета, — значение нагрузки, расстояние от начала стержня до начала области приложения, ширина области приложения нагрузки;
- для сосредоточенного момента — величина момента и его положение в пролете.

Задав характеристики нагрузки, необходимо нажать кнопку **Применить**.

Для перехода к следующему загружению следует нажать кнопку **Создать**, после чего количество рассматриваемых загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, то к нему можно вернуться, выбрав его в списке **Загружения**. Для удаления загружения используется кнопка **Удалить**. Удаление отдельных нагрузок из загружения можно выполнить из таблицы нагрузок, которая вызывается нажатием одноименной кнопки — .

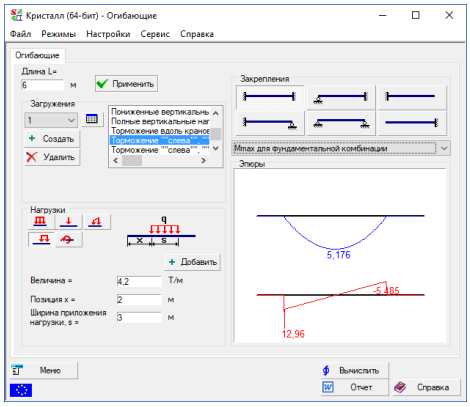


Рис. 5.8.4-2. *Диалоговое окно* **Огибающие**

После нажатия кнопки **Применить** в поле **Эпюры** появляется изображение схемы загружения. Под ним выводится совмещенная схема эпюры моментов и поперечных сил. После ввода всех загружений можно просмотреть, какой вид имеют выбранные значения экстремальных моментов и соответствующих им поперечных сил, а также экстремальных поперечных сил и соответствующих им моментов. Для получения эпюр огибающих следует выбрать интересующие эпюры из списка, расположенного над полем вывода эпюр (рис. 5.8.4-2).

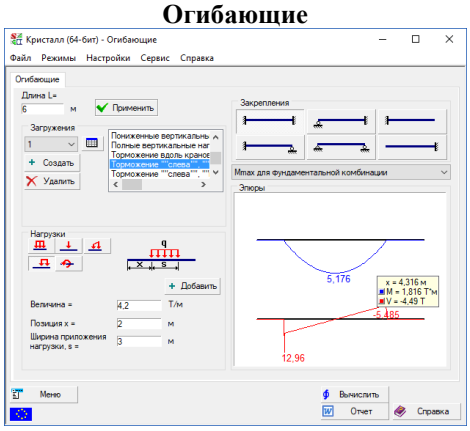


Рис. 5.8.4-3. Оцифровка эпюры моментов

Отметим, что в эпюрах моментов и поперечных сил невозможно представить два различных значения в одном и том же поперечном сечении балки. Поэтому в тех случаях, когда имеется скачок значений (в эпюре моментов при действии сосредоточенного момента и в эпюре поперечных сил при действии сосредоточенной силы), он не показывается явно. Взамен приводятся значения в двух различных, хотя и близко расположенных, сечениях. В связи с этим возможно кажущееся нарушение условий равновесия.

Если удержать курсор в интересующей точке по длине балки, то на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении, которое соответствует положению курсора (рис. 5.8.4-3).

5.8.5 Критический момент

В режиме **Критический момент** решается задача определения упругого критического изгибающего момента для изгибаемого элемента, используемого в дальнейшем в проверке устойчивости плоской формы изгиба. Вычисление критического момента выполняется с использованием аналитического решения, приведенного в ENV 1993-1-1, в зависимости от формы эпюры изгибающего момента, различных условий закреплений концов стержневого элемента, раскрепления от искажения, уровня приложения нагрузки по

отношению к центру сдвига сечения, а также в зависимости от асимметрии сечения относительно оси большей жесткости. Кроме того, при вычислении критического момента учитывается кривизна в плане до потери устойчивости в соответствии с [1]. Вычисления выполняются только для поперечных сечений, симметричных относительно оси меньшей жесткости при их изгибе относительно оси большей жесткости.

Главное окно режима содержит две страницы – **Параметры** и **Критический момент**.

На странице **Параметры** (рис. 5.8.5-1) задается поперечное сечение элемента и длина пролета. Поперечное сечение может быть выбрано из общей базы данных о профилях проката или из пользовательской базы данных о сварных профилях. Последние могут быть также заданы по правилам, описанным в разделе 4.3 руководства программы **Кристалл**.

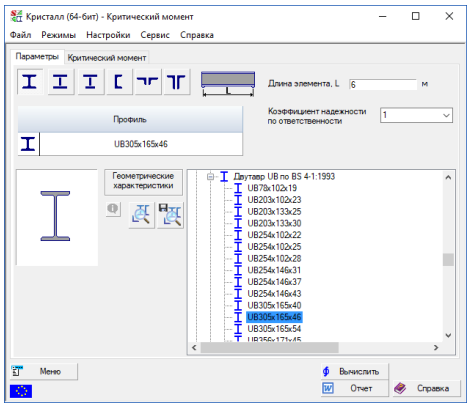


Рис. 5.8.5-1. *Страница* **Параметры**

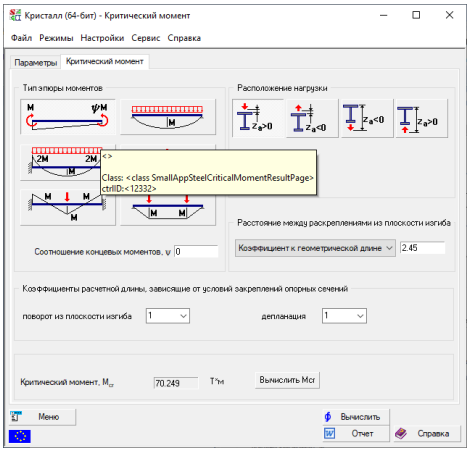


Рис. 5.8.5-2. *Страница* **Критический момент**

На странице **Критический момент** (рис. 5.8.5-2) необходимо задать вид эпюры изгибающих моментов, выбрав его из предусмотренных в приложении NAD Франции к EN 1993-1-1. При этом для варианта с прямолинейной эпюрой указывается соотношение между значениями концевых моментов ψ. Поскольку вид эпюры моментов задан, то тем самым определены закрепления элемента в плоскости изгиба. Закрепления из плоскости изгиба определяются задаваемым для сжатого пояса отношением расчетной длины l к длине пролета L.

Кроме того для вычисления критического момента следует задать два коэффициента эффективной длины, зависящих от закрепления торцевых сечений: коэффициент k, зависящий от поворота торцевых сечений, и коэффициент k_w, который характеризует ограничение депланаций сечения. Рекомендации по назначению коэффициентов k, k_w для некоторых частных случаев можно найти в книгах

L. Gardner, *Stability of Steel Beams and Columns: In Accordance with Eurocodes and the UK National Annexes*, Steel Construction Institute, 2011.

N.Boissonnade, R.Greiner, J.P.Jaspart, J.Lindner, *Rules for member stability in EN 1993-1-1 : Background documentation and design guidelines*, ECCS European Convention for Constructional Steelwork, 2006.

На этой странице задается расстояние от точки приложения нагрузок до уровня верхнего пояса z_a. Знак z_a назначается в соответствии с приведенной на странице схемой.

После нажатия кнопки **Вычислить** выводится значение критического момента, которое и является результатом работы режима.

Необходимо заметить, что EN 1993-1-1 ограничивает использование этого метода проверки для тех сечений, для которых характерен существенный поворот главных осей инерции «эффективного» сечения по отношению к главным осям инерции поперечного сечения брутто. Соответствующие ограничения введены и в данном режиме.

5.8.6 Геометрические характеристики

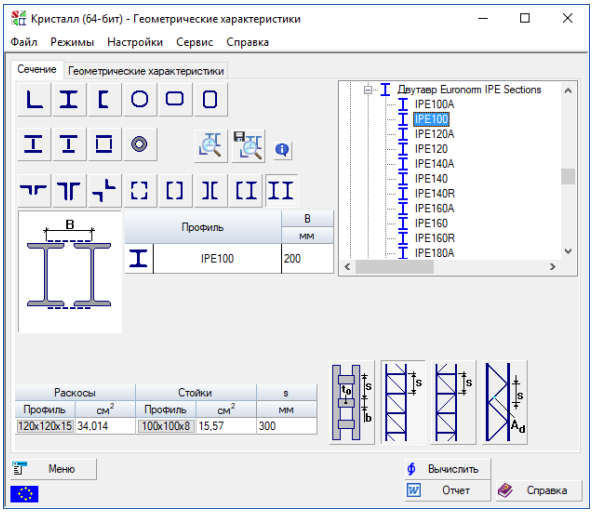


Рис. 5.8.6-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Геометрические характеристики**

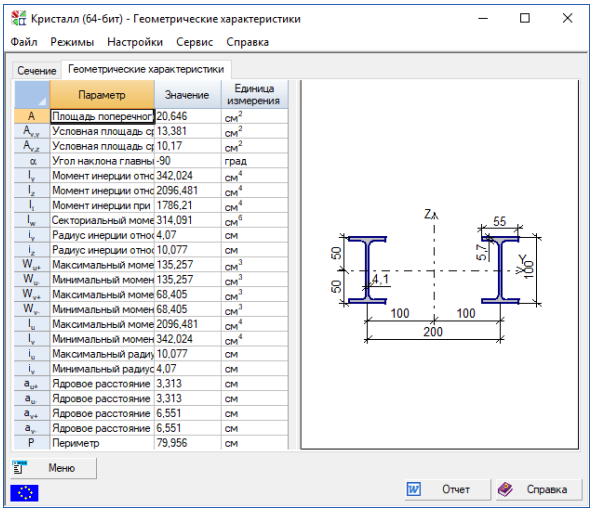


Рис. 5.8.6-2. *Страница* **Геометрические характеристики**

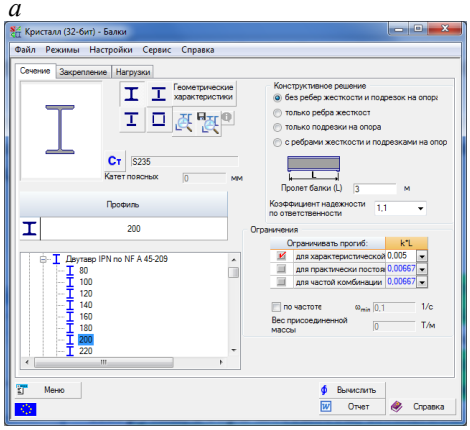
В этом режиме вычисляются геометрические характеристики поперечных сечений таким же образом, как это было описано выше в разделе 5.8.1. Исходные данные вводятся на странице **Сечение** (рис. 5.8.6-1). Результаты в форме, представленной на рис. 5.8.6-2, выдаются на странице **Геометрические характеристики**.

5.9 Проектирование конструктивных элементов

Выбор режима проектирования отдельных конструктивных элементов осуществляется нажатием соответствующей кнопки в главном окне программы. В программе реализован расчет следующих конструктивных элементов: **Балки, Стойки, Связи** и **Фермы**.

5.9.1 Балки

а



В режиме **Балки** выполняется проверка балочной конструкции из прокатного двутаврового профиля или сварного двутаврового и коробчатого сечений без продольных и поперечных ребер, подкрепляющих стенку, или же с поперечными ребрами. Главное окно содержит следующие страницы: **Общие параметры**, **Закрепление**, **Нагрузки**, **Ребра жесткости**, **Концевой подрез**.

Страница **Общие параметры** (рис. 5.9.1-1) включает набор элементов интерфейса, с помощью которых назначаются исходные данные для выполнения проверочных расчетов балки по двум группам предельных состояний.

Выбор прокатного профиля реализован аналогично тому, как было описано в разделе 4.3 (см. рис. 5.9.1-1, *а*). Если тип поперечного сечения балки является сварным двутавровым или коробчатым, необходимо определить размеры поперечного сечения балки: высоту h_w и толщину t_w стенки

б

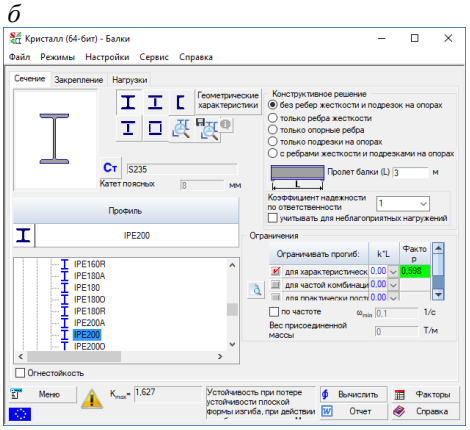


Рис. 5.9.1-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Балки** (*а* – для прокатного двутавра, *б* – для сварного двутавра)

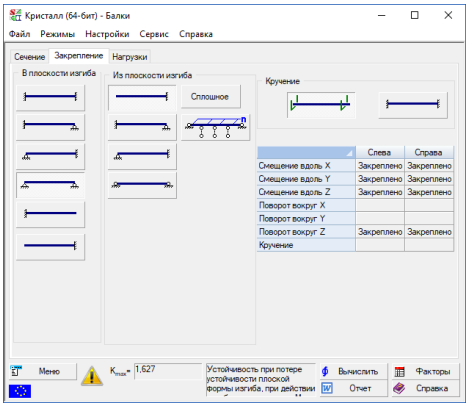


Рис. 5.9.1-2. *Страница* **Закрепления** *режима* **Балки**

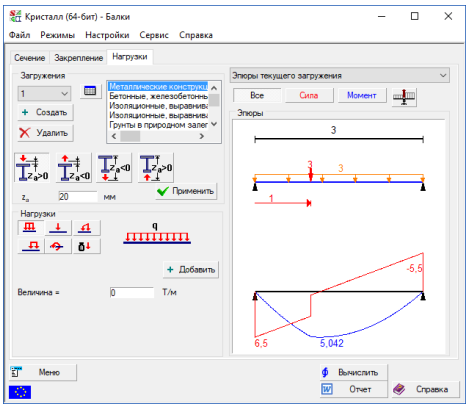


Рис. 5.9.1-3. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Балки**

балки, ширину b_f и толщину t_f полки (см. рис. 5.9.1-1, *б*).

В группе данных **Конструктивное решение** расположены маркеры для выбора (при необходимости) поперечных ребер жесткости и конструктивного оформления торцов балки – с концевыми подрезами или без таковых, а также поля ввода длины пролета балки и катета поясных швов (для сварных сечений).

На этой странице размещена также кнопка , с помощью которой производится выбор стали. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1.

В поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо ввести значение соответствующего коэффициента, на который в последующем будут умножены все расчетные значения нагрузок, прикладываемых на балку.

В группе элементов интерфейса **Ограничения** предусмотрена возможность задать ограничеия прогиба балки для расчетных комбинаций нагрузок второго предельного состояния.

Страница **Закрепление** (рис. 5.9.1-2) содержит три группы кнопок, с помощью которых указывается система закрепления балки в плоскости изгиба, из плоскости изгиба и относительно депланаций. Выбор осуществляется нажатием на кнопку с соответствующей схемой. Если при задании условий закрепления из плоскости изгиба указан последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

На этой же странице имеется таблица для отображения выбранной системы связей. С ее помощью осуществляется контроль ввода.

На странице **Нагрузки** (рис. 5.9.1-3) задаются нагрузки, действующие на балку. Правила работы с ней аналогичны описанным выше (см. раздел 5.8). Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок задается положение точки приложения нагрузки относительно верхнего пояса балки, которая предполагается одинаковой для всех компонентов текущего загружения. При описании сосредоточенной нагрузки кроме ее величины и размещения относительно левого торца балки, необходимо также задать условную ширину приложения такой нагрузки. Кроме того, если курсор находится в поле эпюры, то при нажатой правой клавиши мыши в зависимости от установленных параметров на экран выводится сечение балки с изополями нормальных и касательных напряжений, соответствующие расчетному сечению, определяемому положением курсора (рис. 5.6.1-3).

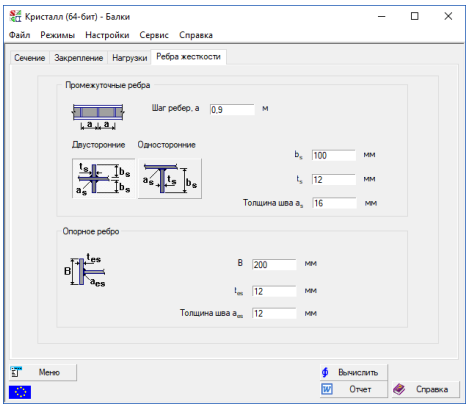


Рис. 5.9.1-4. *Страница* **Ребра жесткости** *режима* **Балки**

На странице **Ребра жесткости** (рис. 5.9.1-4) задаются сведения о промежуточных ребрах жесткости и опорных ребрах. Эта страница становится доступной после выбора на странице **Сечение** в группе **Конструктивное решение** одного из признаков, определяющих наличие поперечных ребер жесткости. При этом, в режиме **Балки** предусмотрены конструктивные решения двусторонних и односторонних промежуточных ребер жесткости, привариваемых к стенке балки угловыми сварными швами. В качестве параметров, задающих оребрение стенки балки, необходимо задать ширину и толщину промежуточного и/или опорного ребра жесткости, шаг промежуточных ребер жесткости, а также толщину угловых сварных швов, с помощью которых ребра привариваются к стенке балки.

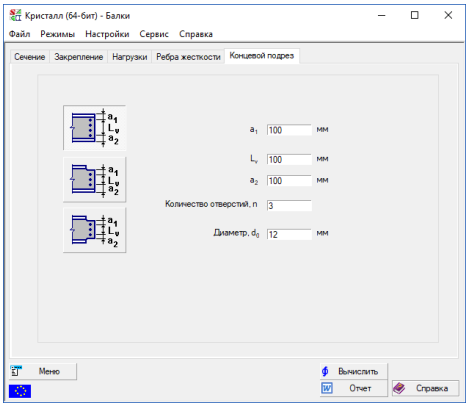


Рис. 5.9.1-5. *Страница* **Концевой подрез** *режима* **Балки**

Страница **Концевой подрез** (рис. 5.9.1-5) позволяет задать сведения об ослаблении поперечного сечения балки в зоне ее примыкания к опорам. Эта страница доступна в тех случаях, когда на странице **Сечение** в группе **Конструктивное решение** был выбран один из признаков, определяющих наличие концевых подрезов. Вариант конструктивного решения концевых закреплений выбирается с помощью кнопок, после чего следует ввести соответствующие размеры. Обращаем внимание на то, что задаются не диаметры крепежных болтов, а диаметры отверстий для них.

Список проверок, выполняемых в этом режиме, представлен в таблице 5.9.1-1, там же указаны и пункты EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 и EN 1993-1-8, в соответствии с которыми эти проверки реализованы (полный перечень результатов этих проверок приводится в отчетном документе).

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций.

Таблица 5.9.1-1. Список проверок балок согласно EN 1993-1-1, EN 1993-1-5 и EN 1993-1-8

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-5	Ссылка на EN 1993-1-8
Прочность при действии поперечной силы V_z	6.2.6 (6.17)...(6.21)		
Прочность при действии изгибающего момента M_y	6.2.5 (6.12)...(6.15)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2	
Прочность при совместном действии изгибающего момента M_y и поперечной силы V_z	6.2.5 (6.12)...(6.15), 6.2.8 (6.29)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2	
Устойчивость плоской формы изгиба	6.3.2 (6.54)...(6.57)		
Сопротивление срезу стенки для группы отверстий концевого крепления балки			3.10.2 (3.9), (3.10)
Несущая способность стенки при действии поперечной силы V_z		5.2 (5.1), (5.2), 5.3 (5.3)...(5.6), 5.4 (5.8), (5.9), 5.5 (5.10)	
Несущая способность стенки при действии локальной поперечной нагрузки		6.1 (Fig. 6.1), 6.2 (6.1), (6.2), 6.3, 6.4 (6.3)…(6.5), 6.5 (6.8)…(6.13), 6.6 (6.14)	
Несущая способность промежуточного поперечного ребра жесткости из условия обеспечения устойчивости при действии продольного усилия	6.3.1.1 (6.46)...(6.48), 6.3.1.2 (6.49), 6.3.1.3 (6.50), (6.51), 6.3.1.4 (6.52), (6.53)	9.1(2), 9.1(3); 4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2	
Несущая способность концевого опорного ребра жесткости из условия обеспечения устойчивости при действии продольного усилия	6.3.1.1 (6.46)...(6.48), 6.3.1.2 (6.49), 6.3.1.3 (6.50), (6.51), 6.3.1.4 (6.52), (6.53)	9.1(2), 9.1(3); 4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2	
Несущая способность промежуточного поперечного ребра жесткости из условия обеспечения устойчивости при совместном действии продольного усилия и изгибающего момента	6.3.3 (6.61), (6.62)	9.1(2), 9.1(3); 4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2	
Несущая способность промежуточных поперечных ребер жесткости, обеспечивающих жесткое подкрепление стенки балки		9.2.1 (9.1)	
Прочность сварного соединения на угловых швах промежуточного поперечного ребра жесткости со стенкой балки на действие продольной силы			4.5.3.2 (4.1)
Прочность сварного соединения на угловых швах промежуточного поперечного ребра жесткости со стенкой балки на действие продольной силы и изгибающего момента			4.5.3.2 (4.1)
Прочность сварного соединения на угловых швах концевого опорного ребра жесткости со стенкой балки на действие продольной силы			4.5.3.2 (4.1)
Устойчивость сжатой полки балки		8(1), (8.1)	

5.9.2 Стойки

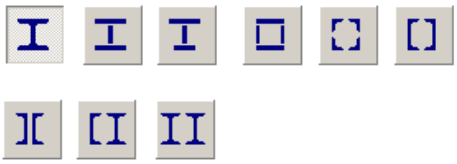


Рис. 5.9.2-1. Типы поперечных сечений колонны

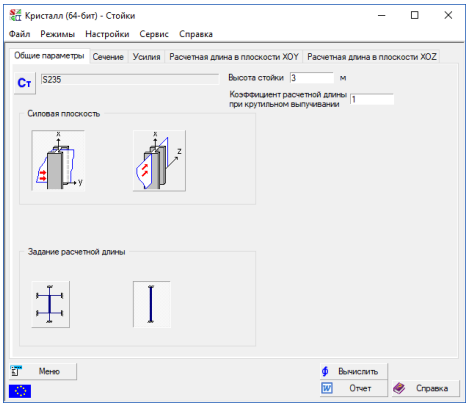


Рис. 5.9.2-2. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Стойки**

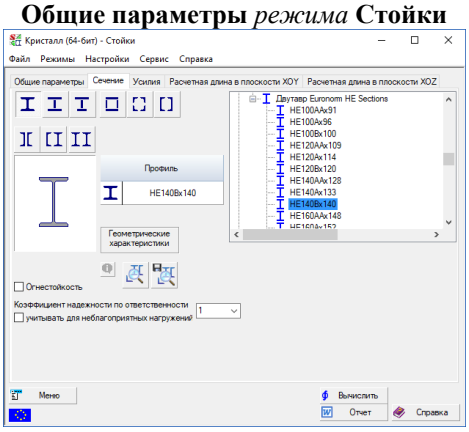


Рис. 5.9.2-3. *Страница* **Сечение** *режима* **Стойки**

В этом режиме выполняется проверка конструкции колонны, поперечное сечение которой выбирается из представленных на рис. 5.9.2-1 типов.

Окно включает следующие страницы: **Общие параметры**, **Сечение**, **Усилия** и **Расчетные длины** (или **Расчетная длина в плоскости XoY** и **Расчетная длина в плоскости XoZ**).

Страница **Общие параметры** (рис. 5.9.2-2) содержит поле ввода **Высота стойки**, где необходимо назначить высоту колонны, а также кнопку

, с помощью которой производится выбор стали. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1. На этой же странице в соответствующем поле необходимо задать коэффициент расчетной длины при крутильном выпучивании.

Ориентация плоскости деформирования выполняется с помощью кнопок в группе **Силовая плоскость**. Все нагрузки, приложенные к колонне, располагаются в этой плоскости.

Кнопки группы **Задание расчетной длины** позволяют выбрать способ определения расчетной длины – по схеме простого стержня или как для фрагмента рамы по рекомендациям Annex E EN 1993-1-1.

Страница **Сечение** (рис. 5.9.2-3) позволяет выбрать поперечное сечение колонны и определить его параметры. При использовании прокатных профилей их выбор осуществляется из базы данных. Ввод характеристик сварных сечений выполняется в соответствующих полях ввода. Аналогичные операции уже описывались ранее.

Для поперечных сечений с решетками открываются кнопки выбора типа решетки и поля для ввода их параметров (рис. 5.9.2-4, *а*). В соответствии с рекомендациями раздела 6.4 EN 1993-1-1 параллельные решетки одинаково ориентированы. Для сечения из четырех уголков с помощью соответствующих кнопок необходимо указать взаимное расположение решеток в соседних гранях (рис. 5.9.2-4, *б*).

Кроме того, в поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо ввести соответствующий коэффициент, на который в дальнейшем будут умножены значения всех внутренних усилий.

а *б*

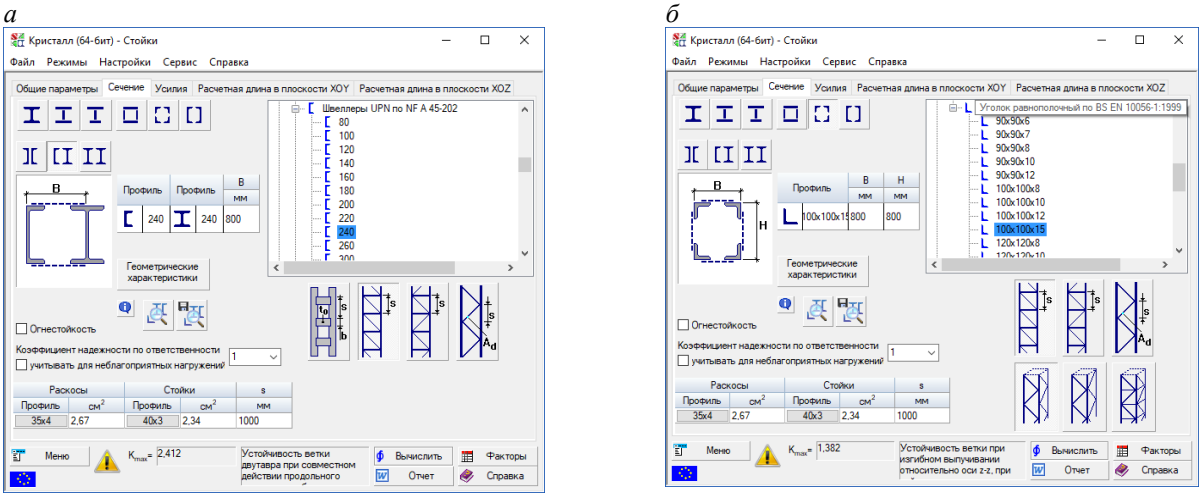


Рис. 5.9.2-4. Ввод данных о решетках

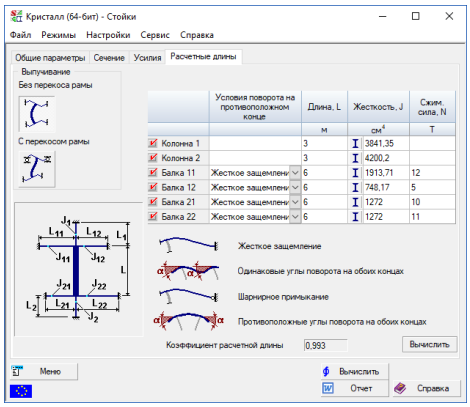


Рис. 5.9.2-5. *Страница* **Расчетная длина** *режима* **Стойки**

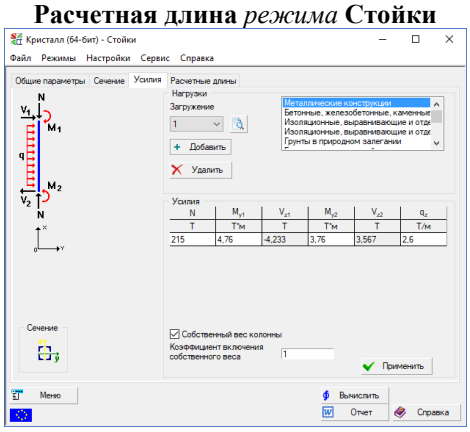


Рис. 5.9.2-6. *Страница* **Усилия** *режима* **Стойки**

На странице **Расчетные длины** (рис. 5.9.2-5) задается конфигурация части рамы, где расположена колонна, и вводятся необходимые параметры для вычисления расчетных длин. Эти длины определяются для фрагмента рамной системы, расположенной в силовой плоскости, заданной на странице **Общие параметры**. Расчет требует задания информации о жесткостных характеристиках конструктивных элементов, примыкающих к колонне.

Если нажать кнопку **Вычислить**, то в соответствующее окно выводится значение l / L. Предполагается, что закрепление колонны в другой плоскости определяет значение $l / L = 1$.

Если на странице **Общие параметры** выбран способ задания расчетной длины **Простые стойки**, то появляются страницы **Расчетная длина в плоскости XoY (XoZ)**, аналогичные описанным в разделе 4.8.4 (рис. 4.8.4-2).

Страница **Усилия** (рис. 5.9.2-6) аналогична странице, описанной в разделе 4.10.6.

По нажатии кнопки предусмотрена возможность получить эпюры усилий.

Следует обратить внимание на то, что, в отличие от режима **Сопротивление сечений**, положительная продольная сила всегда считается сжимающей.

5.9.3 Связи

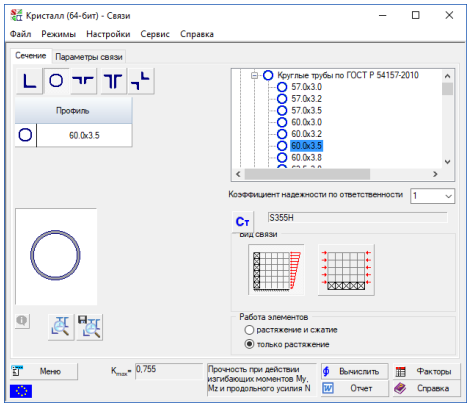


Рис. 5.9.3-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Связи**

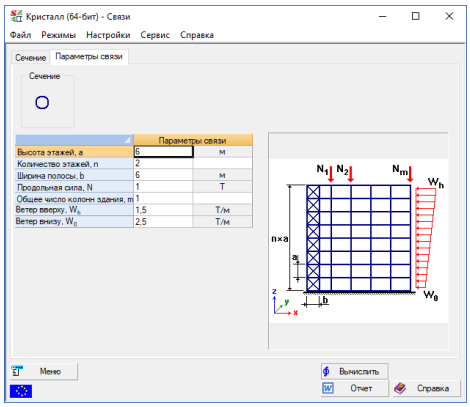


Рис. 5.9.3-2. *Страница* **Параметры связи** при выборе связей по покрытию

Режим **Связи** предназначен для выполнения проверок прочности устойчивости связевой системы на действие ветровых нагрузок, передаваемых на эту систему, а также на действие эквивалентных сил. С помощью последних учитываются возможные несовершенства раскрепляемой конструкции в соответствии с указаниями п. 5.3.3 EN 1993-1-1.

Главное окно режима **Связи** включает страницы **Сечение** и **Параметры связи**.

На странице **Сечение** (рис. 5.9.3-1) с помощью кнопок группы **Вид связи** выбирается один из двух основных случаев расположения ветровых связей. Это вертикальные связи, раскрепляющие конструкции многоэтажной рамы, или горизонтальные связи по покрытию здания. Каждая из этих конструкций может быть представлена одной из следующих расчетных моделей:

- сжато-растянутая модель, в которой должна быть обеспечена работа элементов связей как на сжатие, так и на растяжение;
- растянутая модель, в которой гибкий сжатый элемент выключается из работы вследствие потери устойчивости.

Выбор модели осуществляется с помощью маркеров в группе **Работа элементов**. Поперечное сечение выбирается из базы профилей проката или из пользовательской базы данных.

Поперечное сечение элементов связей может быть из прокатных профилей или сварное и назначается с помощью элементов управления группы **Сечение**.

На этой странице также размещена кнопка

, с помощью которой производится выбор стали. Описание процедуры выбора стали приведено в разделе 5.7.1. Тут же в поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо ввести значение соответствующего коэффициента, на который в дальнейшем будут умножены нагрузки, прикладываемые к связевой системе.

Страница **Параметры связи** (рис. 5.9.3-2) служит для ввода информации о параметрах конструктивной схемы и нагрузках, передаваемых на связевую систему.

Для горизонтальных связей (рис. 5.9.3-2) осевая сила *N* определяется как усилие в верхнем поясе раскрепляемых ферм покрытия. Если раскрепляются от потери устойчивости балки покрытия, то в соответствии с п. 5.3.3 (3) EN 1993-1-1 сила *N* определяется через значение наибольшего изгибающего момента. Предполагается, что сила *N* одинакова для всех ригелей.

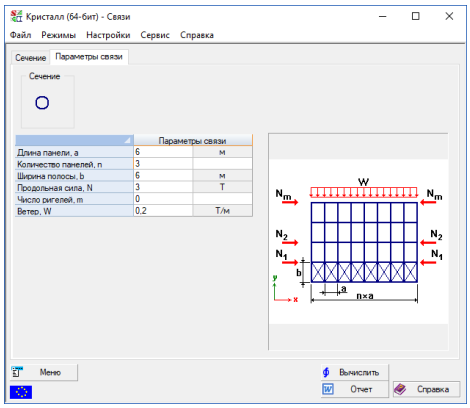


Рис. 5.9.3-3. *Страница*
Параметры связи
при выборе вертикальных связей

Для вертикальных связей (рис. 5.9.3-3) сила N есть нагрузка, передаваемая на колонну в пределах этажа. Предполагается, что она одинакова для всех колонн и всех этажей.

После нажатия кнопки **Вычислить** в соответствующее поле выводится значение коэффициента K_{max} и наименование фактора, его определившего.

5.9.4 Фермы

С помощью этого режима осуществляются все необходимые проверки стержневых элементов стальных ферм на прочность и устойчивость в соответствие с требованиями EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-5:2005. При этом работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых внешних нагрузок для схем конструкций, наиболее часто используемых в практике проектирования. Возможен вариант работы с подбором сечений из заранее составленного сортамента поперечных сечений.

В табл. 5.9.4-1 представлены проверки стержневых элементов ферм в соответствии с EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-5:2005, которые реализованы в этом режиме.

Таблица 5.9.4-1. Список проверок стержневых элементов ферм по EN 1993-1-1 и EN 1993-1-5

Фактор	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-5
Прочность при действии продольной силы N растяжения	6.2.3 (6.5), (6.6)	
Прочность при действии продольной силы N сжатия	6.2.4 (6.9)…(6.11)	4.4 (4.1)...(4.4), табл. 4.1, 4.2
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси y-y при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.51)	
Устойчивость при изгибном выпучивании относительно оси z-z при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.51)	
Устойчивость при изгибно-крутильном и крутильном выпучивании при действии сжимающего продольного усилия N	6.3.1 (6.46)…(6.49), 6.3.1 (6.52), (6.53)	

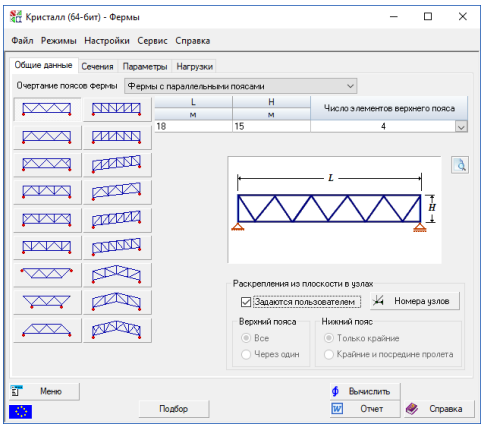


Рис. 5.9.4-1. *Страница* **Общие данные** *режима* **Фермы**

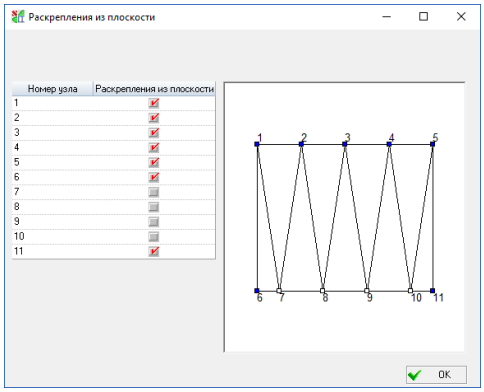


Рис. 5.9.4-2. *Диалоговое окно* **Раскрепление из плоскости**

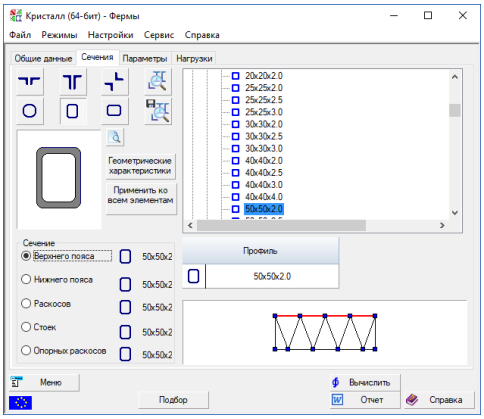


Рис. 5.9.4-3. *Страница* **Сечения** *режима* **Фермы**

Главное окно режима **Фермы** включает четыре страницы: **Общие данные**, **Сечения**, **Параметры** и **Нагрузки**.

Страница **Общие данные** (рис. 5.9.4-1) включает выпадающий список **Очертание поясов фермы**, в котором пользователю необходимо выбрать вид фермы в зависимости от очертания ее поясов. Предусмотрен расчет ферм следующих видов: с параллельными поясами, треугольных, трапецеидальных, с полигональным верхним поясом, односкатные и двухскатные. Все фермы предполагаются статически определимыми.

Для выбранной конфигурации поясов фермы задается пролет фермы, ее высота на опоре и количество элементов пояса фермы. Если речь идет о трапецеидальных фермах или фермах с полигональным верхним поясом, то пользователю необходимо также задать дополнительные геометрические параметры.

На этой же странице в группе элементов интерфейса **Раскрепления из плоскости** с помощью соответствующих кнопок пользователем указывается вариант раскрепления из плоскости фермы узлов фермы верхнего пояса (все или через один) и нижнего пояса (только крайние или крайние и посередине пролета). Предполагается, что в плоскости изгиба ферма раскреплена статически определимым образом. В случае, если выбран маркер **Задаются пользователем,** становится доступной кнопка **Номера узлов**, нажатием которой вызывается диалоговое окно **Раскрепления из плоскости** (рис. 5.9.4-2). В этом окне приведена расчетная схема фермы с пронумерованными узлами и таблица, в которой каждому узлу фермы соответствует маркер. Активное состояние маркера говорит о наличии раскрепления (линейной связи, ориентированной из плоскости фермы) в данном узле. Раскрепленные узлы помечаются на схеме синим цветом. Узлы, помеченные в таблице серым цветом, раскрепляются по умолчанию и их состояние изменить нельзя.

На странице **Сечения** (рис. 5.9.4-3) назначаются поперечные сечения для стержневых элементов фермы. Предполагается, что по длине фермы сечения поясов фермы не меняются. Сечения компонуются из парных равнополочных или неравнополочных уголков, располагаемых в форме тавра (последние — в двух вариантах) или креста из равнополочных уголков, а также из труб круглого и прямоугольного сечений.

При выборе сечений используется база данных прокатных профилей. Значение зазора между уголками задается в таблице, расположенной над схемой фермы, одновременно с выбором профиля для каждого типа сечения. Выбранные с помощью кнопки элементы фермы одного конструктивного типа (Верхнего пояса, Нижнего пояса, Раскосов, Стоек, Опорных раскосов) выделяются на схеме красным цветом, а в поле выбора отображается их сечение.

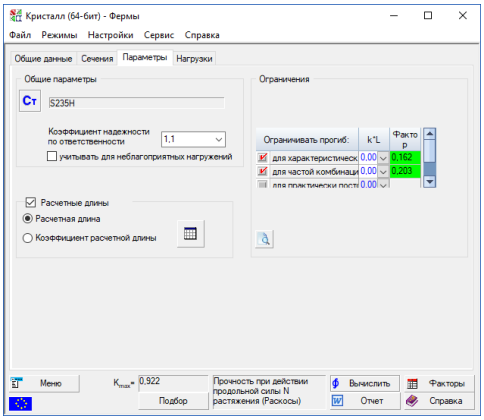


Рис. 5.9.4-4. *Страница* **Параметры** *режима* **Фермы**

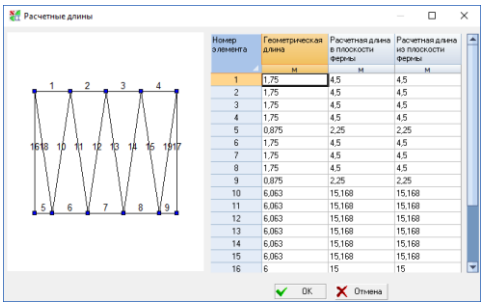


Рис 5.9.4-5. *Диалоговое окно* **Расчетные длины**

На странице **Параметры** (рис. 5.9.4-4) задается класс стали для стержневых элементов фермы при помощи нажатия кнопки . В поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо ввести соответствующий коэффициент, на который автоматически будут умножены все расчетные значения нагрузок, определяемых на странице **Нагрузки** (см. рис. 5.9.4-6).

В группе элементов интерфейса **Ограничения** этой страницы (см. рис. 5.9.4-4) предусмотрена возможность задать предельно допустимое значение прогиба фермы в долях от величины пролета для *комбинаций второй группы предельных состояний*: характеристической комбинации, для практически постоянной комбинации и для частой комбинации. Предусмотрена возможность назначения предельного прогиба фермы в форме доли пролета (величина $1/A$), где A есть набор наиболее часто употребляемых величин (120, 150, 200, 250, 300 и т.п.).

На этой же странице в группе элементов интерфейса **Расчетные длины** задается информация относительно расчетных длин стержневых элементов фермы. Для этого следует активировать маркер **Расчетные длины**, а также выбрать способ задания расчетных длин (Расчетная длина или Коэффициент расчетной длины) и нажать кнопку , которая открывает доступ к диалоговому окну **Расчетные длины** (см. рис. 5.9.4-5).

В таблице диалогового окна **Расчетные длины** для каждого стержневого элемента фермы (номера элементов приводятся на схеме) задаются данные о расчетных длинах в плоскости и из плоскости фермы. Кроме того, в каждой строке этой таблицы приводится информация о геометрической длине соответствующего элемента (см. рис. 5.9.4-5). По умолчанию расчетные длины стержневых элементов стальных ферм приняты равными их геометрической длине (коэффициент расчетной длины, по умолчанию, принят равным единице).

После ввода информации о расчетных длинах стержневых элементов фермы кнопка меняет свой вид и выглядит следующим образом: .

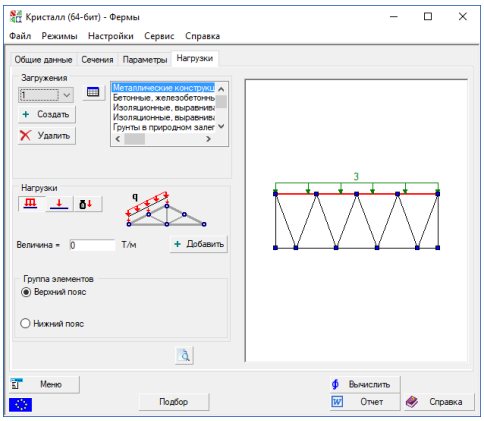


Рис. 5.9.4-6. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Фермы**

Страница **Нагрузки** (рис. 5.9.4-6) во многом напоминает ту, которая описана в режиме **Огибающие** (см. раздел 4.8.1), однако здесь имеются и свои особенности. В данном режиме пользователю предоставлена возможность задать либо равномерно распределенную нагрузку на весь пояс, или на его половину, либо сосредоточенную нагрузку в узлах фермы. При этом, для сосредоточенной нагрузки необходимо задать номер узла, который выбирается из выпадающего списка **Номер узла**. Место приложения распределенной нагрузки определяется соответствующими кнопками выбора группы элементов интерфейса **Группа элементов**: Верхний пояс, Нижний пояс, Левая половина верхнего пояса или Правая половина верхнего пояса. При нажатии на кнопку выбора пояса, к которому приложена нагрузка, в окне отображения появляется условная схема соответствующего пояса с засечками в месте расположения узлов, а при задании нагрузки (после нажатия кнопки **Добавить**) – схема соответствующего нагружения со всеми введенными нагрузками.

Откорректировать значения конкретных нагрузок можно в таблице, которая вызывается кнопкой (см. раздел 4.8.1).

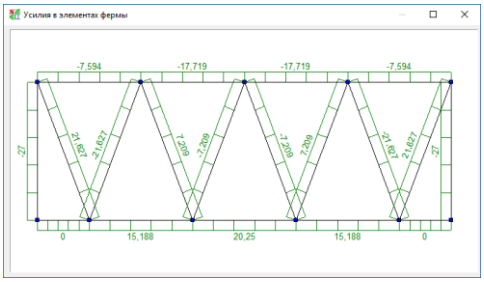


Рис. 5.9.4-7. *Информационное окно* **Усилия в элементах фермы**

По нажатию кнопки **Усилия в элементах фермы для текущего загружения** открывается одноименное информационное окно, в котором показана расчетная схема фермы с эпюрой внутренних усилий (рис. 5.9.4-7).

В программе Кристалл (в отличие от SCAD) принято, что на ферму действует узловая нагрузка. Таким образом, заданная распределенная нагрузка не передается непосредственно на элементы фермы, а считается приложенной к некоторой ограждающей конструкции кровли, которая и выполняет функцию приведения нагрузки к узлам.

Как правило, на верхний пояс фермы действует распределенная нагрузка, это обстоятельство учитывается при расчете фермы в программе SCAD, при этом для наклонных элементов продольная сила меняется по его длине. Программа SCAD выводит значения максимального усилия по длине элемента. В Кристалле при приведении распределенной нагрузки к узлам выводится значение, которое соответствует значению усилия в середине конечного элемента программы SCAD. Это приводит к различию представляемых результатов.

Имеется возможность указать наличие или отсутствие динамических нагрузок на ферме. Если все нагрузки являются статическими, то проверка гибкости растянутых элементов выполняется только в вертикальной плоскости.

Нажатие кнопки **Вычислить** приводит к появлению значения K_{max} и указанию типа проверки (прочность, устойчивость, гибкость), при которой этот максимум реализовался. Используя кнопку **Факторы**, можно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования ограничений.

Кнопка **Подбор** позволяет перейти в режим целенаправленного перебора поперечных сечений элементов фермы с заменой номеров выбранных пользователем профилей (тип поперечного сечения и условия раскрепления не меняются). Программа переходит к следующему большему по площади номеру профиля в каталоге, из которого были первоначально выбраны поперечные сечения, если при проверках рассматриваемого элемента (например, верхнего пояса) было обнаружено значение коэффициента использования ограничений K > 1 или к следующему меньшему по площади номеру профиля, если K < 1. Такие переходы осуществляются до тех пор, пока по всем проверкам не будет выполнено условие K < 1, а замена профиля ближайшим меньшим даст K > 1, т. е. будет найден наименьший из удовлетворяющих требованиям норм профиль.

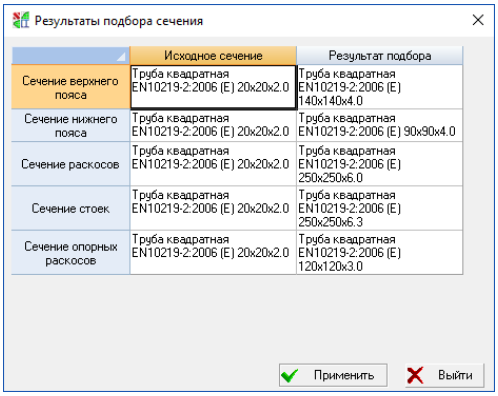


Рис. 5.9.4-8. *Диалоговое окно* **Результаты подбора сечения**

Перебор по различным группам элементов фермы (верхнему и нижнему поясам, раскосам, стойкам) реализуется независимо.

После завершения подбора на экране появляется окно с рекомендациями по выбору поперечных сечений (рис. 5.9.4-8).

Пользователь может отвергнуть эти рекомендации (кнопка **Выйти**) или согласиться с ними. В последнем случае нажимается кнопка **Применить**, и все рекомендованные сечения будут переданы для выполнения проверочного расчета новой конструкции.

Если в процессе подбора было испробовано максимальное сечение из сортамента и при этом значение $K > 1$, то в окне появляется соответствующее сообщение, и кнопка **Применить** блокируется.

Отметим, что ограничение по прогибу на результатах подбора не сказывается.

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций и общий вес фермы.

5.10 Допущения и волевые решения в трактовке Eurocode 3

В этом разделе описываются некоторые допущения, принятые разработчиками программы с целью получения решений для тех случаев, которые напрямую не представлены в EN 1993-1-1. Eurocode 3. Такого рода допущения, вообще говоря, относятся к трактовке нормативного документа и обычно принимаются инженером-проектировщиком при практической работе. Однако, имея в виду определенную «закрытость внутренней кухни» программного продукта, разработчики посчитали необходимым представить их в явной форме.

5.10.1 Определение критического момента

Вопросу определения критического момента посвящено специальное приложение NAD Франции к EN 1993-1-1. В нем для балок со сплошным поперечным сечением приводится формула для определения упругого критического момента, вызывающего изгибно-крутильное выпучивание:

$$\mathbf{M}_{\mathrm{cr}} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + \left(C_2 z_g - C_3 z_j \right)^2 \right]^{1/2} - \left(C_2 z_g - C_3 z_j \right) \right\},$$

где C_1, C_2 и C_3 — коэффициенты, значения которых зависят от вида загружения и условий опирания балки. Они представлены в таблицах F.1.1 и F.1.2 [2] для шести базовых случаев, определяемых видом эпюры моментов.

При коэффициенте свободной длины k = 1,0 и прямолинейной эпюре моментов с концевыми значениями **M** и ψ**M** указанное приложение кроме табличных значений C_1 дает формулу

$$C_1 = 1{,}88 - 1{,}40\psi + 0{,}52\psi^2 .$$

Для других значений k и других коэффициентов аналогичные формулы получены нами как аппроксимация, минимизирующая в классе полиномов третьего порядка среднеквадратичное уклонение от табличных значений. Вычисления проводились с помощью MS Excel и дали следующий результат:

k	C_1	C_3
1,0	$0{,}6674\psi^3 - 0{,}0279\psi^2 - 1{,}5486\psi + 1{,}9639$	$0{,}2354\psi^3 - 0{,}4454\psi^2 + 0{,}2697\psi + 0{,}9415$
0,7	$0{,}6569\psi^3 - 0{,}0856\psi^2 - 1{,}6902\psi + 2{,}1959$	$0{,}0247\psi^3 - 0{,}9187\psi^2 + 0{,}556\psi + 1{,}5173$
0,5	$0{,}6535\psi^3 - 0{,}1015\psi^2 - 1{,}7289\psi + 2{,}2596$	$-0{,}325\psi^3 - 1{,}5745\psi^2 + 0{,}9492\psi + 2{,}2586$

Качество приближения видно из графиков, представленных на рисунках 5.10.1-1 – 5.10.1-4.

Следует отметить, что это еще не решает проблему, поскольку неясно, как следует поступать в случаях, когда коэффициент k имеет другое значение, и в случаях, когда эпюра моментов отлична от представленного в EN 1993-1-1 варианта.

Первая проблема решается путем интерполяции между решениями для случая k = 0,5 и случая k = 1,0.

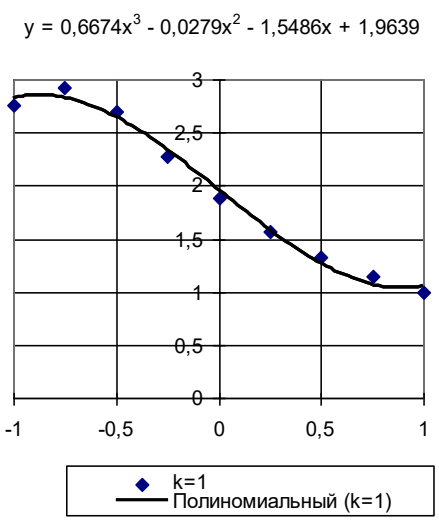


Рис. 5.10.1-1

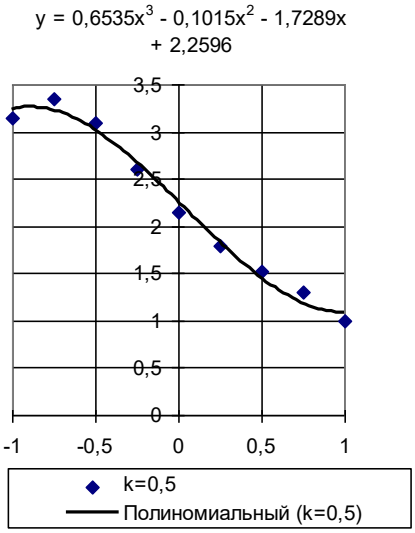


Рис. 5.10.1-2

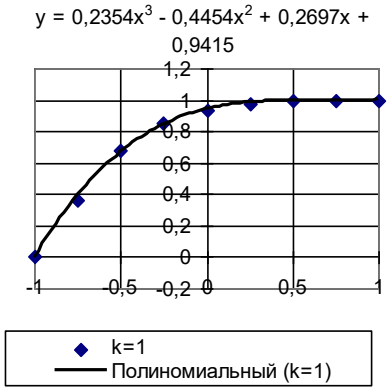


Рис. 5.10.1-3

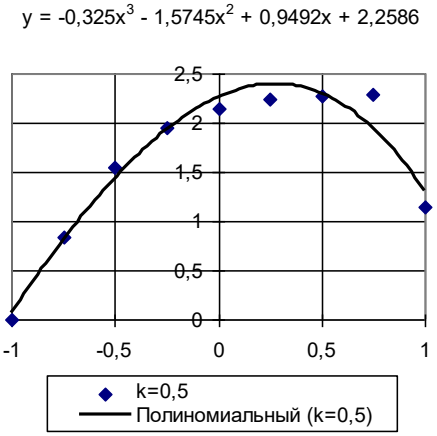
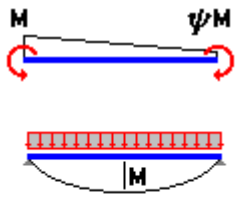


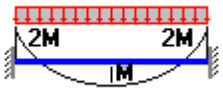
Рис. 5.10.1-4

Вторая проблема решается путем разложения фактической эпюры моментов по системе базисных эпюр, решения для которых дает приложение F.

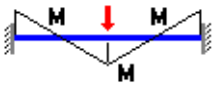


$$\mathbf{M}_1(x) = \mathbf{M}_1\, f_1(x) = \mathbf{M}_1(1 - x / L)$$
$$\mathbf{M}_2(x) = \mathbf{M}_2\, f_2(x) = \mathbf{M}_2\, x / L$$

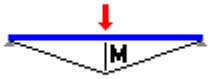
$$\mathbf{M}_3(x) = \mathbf{M}_3\, f_3(x) = \mathbf{M}_3\, 4x(L - x) / L^2$$



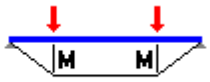
$$\mathbf{M}_4(x) = \mathbf{M}_4\, f_4(x) = \mathbf{M}_4\,[-2 + 12x\,(L - x) / L^2]$$



$$\mathbf{M}_5(x) = \mathbf{M}_5\, f_5(x) = \mathbf{M}_5(-1 + 4x / L) \quad \text{при} \quad (x < L / 2)$$
$$= \mathbf{M}_5\, f_5(x) = \mathbf{M}_5(3 - 4x / L) \quad \text{при} \quad (x > L / 2)$$



$$\mathbf{M}_6(x) = \mathbf{M}_6\, f_6(x) = \mathbf{M}_6\, 2x / L \quad \text{при} \quad (x < L / 2)$$
$$= \mathbf{M}_6\, f_6(x) = \mathbf{M}_6\, 2\,(1 - x / L) \quad \text{при} \quad (x > L / 2)$$



$$\mathbf{M}_7(x) = \mathbf{M}_7\, f_7(x) = \mathbf{M}_7\, 4x / L \quad \text{при} \quad (x < L / 4)$$
$$= \mathbf{M}_7\, f_7(x) = \mathbf{M}_7 \quad \text{при} \quad (L / 4 < x < 3L / 4)$$
$$= \mathbf{M}_7\, f_7(x) = \mathbf{M}_7\,(4 - 4x / L) \quad \text{при} \quad (x > 3L / 4)$$

Разложение по этой системе функций реализуется путем подбора коэффициентов X_i, с помощью которых минимизируется функционал среднеквадратичного уклонения заданной эпюры $\mathbf{M}(x)$ от взвешенной суммы базисных эпюр

$$D = \int_0^L \left[\mathrm{M}(x) - \sum_{i=1}^{7} X_i\, f_i(x) \right]^2 dx.$$

Определение средневзвешенных значений коэффициентов:

$$\psi = X_1 / X_2;$$

$$\begin{cases} C_1 = X_1\left(1{,}9639 - 1{,}548\psi - 0{,}0279\psi^2 + 0{,}6674\psi^3\right); \\ C_2 = 0; \\ C_3 = X_1\left(0{,}9415 + 0{,}2697\psi - 0{,}4454\psi^2 + 0{,}2354\psi^3\right); \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = C_1 + 1{,}132\,X_3; \\ C_2 = C_2 + 0{,}459X_3; \\ C_3 = C_3 + 0{,}525X_3; \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = C_1 + 1{,}285\,X_4; \\ C_2 = C_2 + 1{,}562\,X_4; \\ C_3 = C_3 + 0{,}753\,X_4; \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = C_1 + 1{,}365\,X_5; \\ C_2 = C_2 + 0{,}553\,X_5; \\ C_3 = C_3 + 1{,}730\,X_5; \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = C_1 + 1{,}565\,X_6; \\ C_2 = C_2 + 1{,}267\,X_6; \\ C_3 = C_3 + 2{,}640\,X_6; \end{cases}$$

$$\begin{cases} C_1 = C_1 + 1{,}046\,X_7; \\ C_2 = C_2 + 0{,}430\,X_7; \\ C_3 = C_3 + 1{,}120\,X_7. \end{cases}$$

5.11 Литература

[1] Гарднер Л., Нетеркот Д. А. Руководство для проектировщиков к Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8: пер. с англ. / М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «МГСУ»; науч. ред. пер. А. И. Данилов. – М.: МГСУ, 2012. – 224 с.

[2] Design Handbook for Braced or Non-Sway Steel Buildings according Eurocode 3 (First Edition).– Brussels (Belgium): ECCS. – №85. – 1996. – 227 p.

6. Программа Магнум

Программа **Магнум** предназначена для выполнения конструктивных расчетов и проверок несущих элементов стальных конструкций, выполненных из холодноформованных профилей, на соответствие требованиям СП 260.1325800. Отдельная ветвь программы **Магнум** позволяет выполнить проверки элементов и соединений в соответствии с требованиями EN 1993. Она может быть полезна специалистам, выпускающим проектную документацию по заказам европейских фирм. *EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting* предназначена для выполнения проверок несущих элементов стальных конструкций, выполненных из холодноформованных профилей.

В программе **Магнум** реализованы проверочные расчеты несущих элементов стержневых конструкций из холодногнутых профилей, размеры которых заранее выбраны проектировщиком, т.е. программа работает в режиме экспертизы. Для случая, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, реализована возможность подбора холодногнутого профиля по сортаменту.

В программе **Магнум** также предусмотрена возможность получения справочных данных относительно классов стали и сортаментов металлопроката, а также рекомендаций норм по выбору коэффициентов условий работы и определению предельных прогибов. Для этого в состав программы включены специальные справочные режимы (см. ниже).

6.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно (рис. 6.1-1), содержащее набор кнопок для выбора режима работы. Эти режимы условно можно разделить на следующие группы:

- справочные;
- вспомогательные, связанные с проектированием стальных конструкций;
- реализующие проверку сечений несущих элементов конструкций из холодноформованных профилей на соответствие требованиям норм;
- выполняющие проверочный расчет конструкций и их элементов.

Детальное описание каждого режима приводится ниже. Здесь представлена только их краткая характеристика.

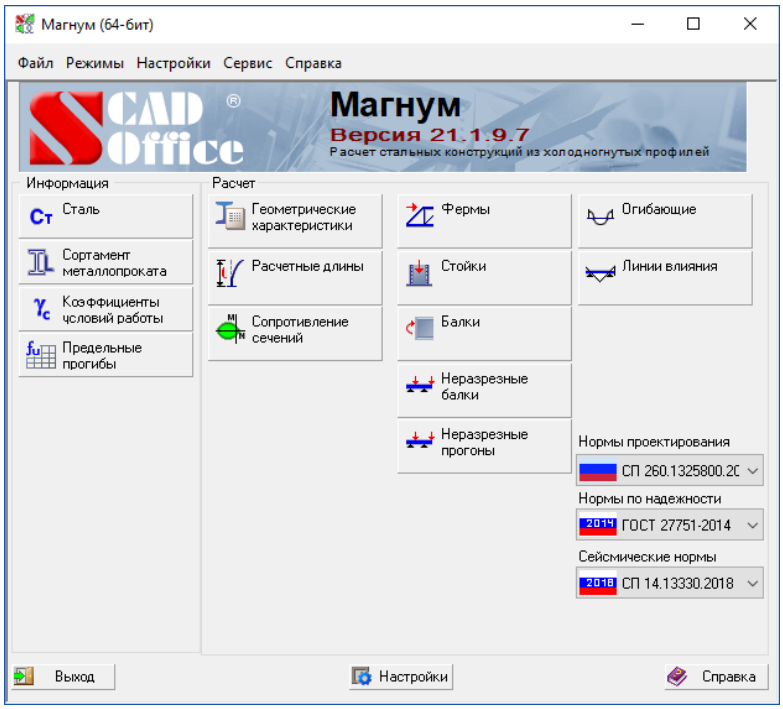


Рис. 6.1-1. *Главное окно программы* **Магнум**

Справочные режимы включают:

- **Сталь** – дает возможность просмотра значений механических характеристик (нормативного и расчетного сопротивления) сталей, используемых для несущих элементов из холодноформованных профилей по ГОСТ Р 52246 и ГОСТ 14919 (при проектировании по СП 260.1325800), а также в соответствии с требованиями EN 10346, EN 10025-2, EN 10025-3 и EN 10025-4 при проектировании по EN 1993;
- **Сортамент металлопроката** – дает возможность просмотра сортаментов холодноформованных профилей;
- **Коэффициенты условий работы** – режим предназначен для просмотра и выбора значений коэффициентов условий работы (γ_c) для конструкций и несущих элементов из холодноформованных профилей в соответствии с требованиями таблицы 5.1 СП 260.1325800 и таблицы 1 СП 16.13330 (при проектировании по EN 1993 данный режим отсутствует);
- **Предельные прогибы** – приведены таблицы СП 20.13330 "Нагрузки и воздействия" с ограничениями на прогибы несущих элементов конструкций (при проектировании по EN 1993 данный режим отсутствует).

Вспомогательные режимы включают:

- **Огибающие**, где определяются невыгодные сочетания многих нагрузок, которые действуют на изгибаемые элементы, строятся огибающие эпюры моментов и поперечных сил;
- **Линии влияния**, где выполняется построение линий влияния в многопролетных неразрезных балках постоянного поперечного сечения;
- **Геометрические характеристики**, где вычисляются геометрические характеристики поперечных сечений из холодноформованных профилей;
- **Расчетные длины**, где вычисляются расчетные длины стержневых элементов конструкций в зависимости от их условий закрепления.

Последующие режимы являются функциональными и предназначены для проверки конструктивных решений стальных конструкций из холодногнутых профилей на соответствие требованиям нормативных документов по прочности, общей устойчивости и деформативности. Кроме того, эти режимы позволяют провести исследования несущей способности стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей путем построения кривых взаимодействия. Они включают:

- **Сопротивление сечений**, где определяются коэффициенты использования ограничений для любого из предусмотренных программой типов поперечных сечений при действии в нем произвольных сочетаний внутренних усилий;
- **Фермы** – в этом режиме для конструктивных схем ферм, наиболее часто используемых в практике проектирования ЛСТК, реализуются все необходимые проверки стержневых элементов ферм из холодногнутых профилей на прочность и устойчивость. При этом расчетные значения внутренних усилий в стержнях фермы от действия заданных пользователем вертикальных нагрузок вычисляются автоматически. Возможными поперечными сечениями являются составные или сквозные двоякосимметричные сечения из холодногнутых профилей, а также корытные профили и составные сечения из спаренных холодногнутых уголков;
- **Балки** – режим аналогичен предыдущему, но ориентирован на рассмотрение однопролетных балок из холодногнутых профилей составного двоякосимметричного сечения с различными условиями опирания;
- **Неразрезные балки** – в режиме реализованы те же функции, что и для режима **Балка**, но применительно к многопролетной (до пяти пролетов) конструкции, которая может иметь консоли по концам. Возможными поперечными сечениями являются составные двоякосимметричные сечения из холодногнутых профилей;
- **Неразрезные прогоны** – режим аналогичен предыдущему, но ориентирован на рассмотрение многопролетных балок из холодногнутых профилей, работающих в качестве прогонов покрытия (в том числе, как элементы горизонтальных ветровых ферм) в условиях косого изгиба при наличии продольной силы. Возможными поперечными сечениями являются U-, C- и Z-образные профили с отгибами (одинарными или двойными) или без таковых;
- **Стойки** – в этом режиме для стоек реализуются все необходимые проверки на прочность и общую устойчивость. В качестве поперечных сечений для стойки предусмотрены составные двоякосимметричные сечения из холодногнутых профилей.

Обращение к любому из указанных режимов приводит к появлению многостраничного диалогового окна, с помощью которого выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

В главном окне располагается ряд кнопок, являющихся общими элементами управления для всех режимов работы. К ним относятся кнопки: **Выход**, **Настройки** и **Справка.** Кнопки **Справка** и **Выход** выполняют обычные для Windows-приложений функции — запрос справочной информации и прекращение работы, соответственно. Назначение кнопки **Настройки** описано ниже.

Выбор норм проектирования выполняется из списка, помещенного в главном окне. Кроме СП 260.1325800 предусмотрена возможность выполнения расчетов по EN 1993-1-3.

Для возвращения в главное окно программы **Магнум** во всех режимах используется кнопка **Меню**.

6.2 Настройки

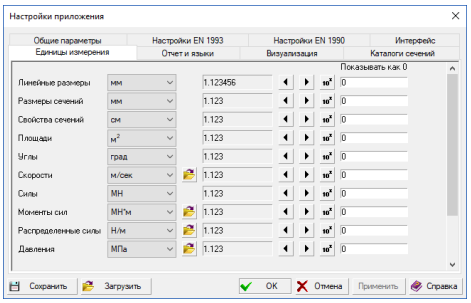


Рис. 6.2-1. *Страница* **Единицы измерения** *окна* **Настройки приложения**

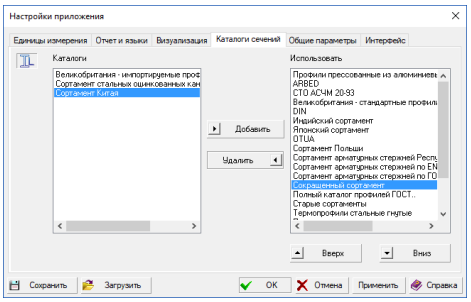


Рис. 6.2-2. *Страница* **Каталоги сечений** *окна* **Настройки приложения**

Окно **Настройки приложения** вызывается нажатием одноименной кнопки главного окна программы **Магнум** или соответствующего пункта меню и может быть вызвано в любой момент работы программы. С его помощью выполняется настройка общих параметров работы.

Оно содержит следующие страницы: **Единицы измерения**, **Отчет и языки**, **Визуализация**, **Каталоги сечений**, **Общие параметры**, **Настройки EN 1993**, **Настройки EN 1990**, **Интерфейс**.

Подробно работа с диалоговым окном **Настройки приложения** описана в разделе 2.2. Настройки программы можно сохранить во внешнем файле, используя кнопку **Сохранить**, и в дальнейшем загрузить этот файл (кнопка **Загрузить**).

6.3 Конструирование поперечных сечений

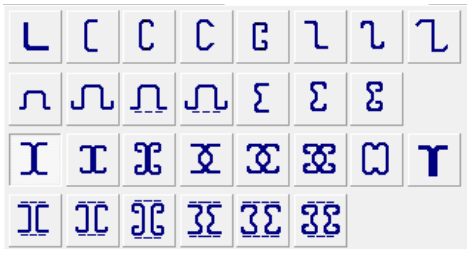


Рис. 6.3-1. Типы поперечных сечений из холодногнутых профилей

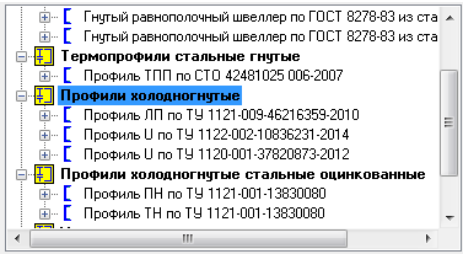


Рис. 6.3-2. Первый уровень дерева (выбор каталога сортаментов)

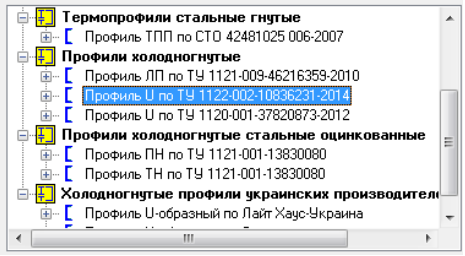


Рис. 6.3-3. Второй уровень дерева (выбор сортамента)

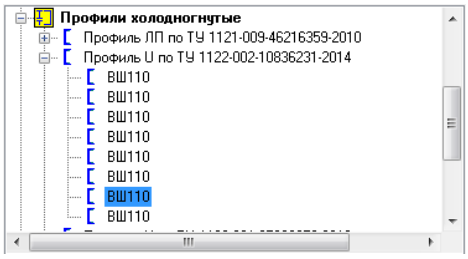


Рис. 6.3-4. Третий уровень дерева (выбор холодногнутого профиля)

Операции выбора поперечного сечения стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей встречаются в большинстве расчетных режимов работы программы **Магнум**. Во избежание повторов эти операции описываются здесь отдельно.

Программа Магнум работает с различными типами поперечных сечений стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей, которые представлены на рис. 6.3-1. В их числе холодногнутые уголки, С-, Z-, сигма- и корыто-образные профили без отгибов на полках, с одинарными и двойными отгибами на полках, различные составные и сквозные сечения из холодногнутых профилей. Необходимо заметить, что составные сечения из тонкостенных холодногнутых профилей формируют при помощи организации болтовых соединений между отдельными ветками (профилями), устанавливаемых по длине стержня с заданным шагом, что не требует устройства каких-либо дополнительных конструктивных элементов (типа «сухариков»).

Для каждого предусмотренного в программе типа поперечного сечения реализован доступ к древовидной структуре базы сортаментов холодногнутых профилей (рис. 6.3-2). Необходимо заметить, что в базе каталогов будут отображаться (и соответственно использоваться) только те каталоги сортаментов холодногнутых профилей, которые включены в список **Использовать** на странице **Каталоги сечений** окна **Настройки приложения** (см. рис. 6.2-2).

На первом уровне дерева этой базы пользователем выбирается каталог сортаментов холодногнутых профилей (см. рис. 6.3-2). Второй уровень дерева (рис. 6.3-3) позволяет выбрать сортамент холодногнутых профилей, который в дальнейшем будет использоваться для выбора требуемого профиля. При этом список доступных каталогов и сортаментов холодногнутых профилей определяется выбранным типом поперечного сечения стержневого элемента. Например, при нажатии кнопки окажутся доступными для выбора только сортаменты С-образных холодногнутых профилей с одинарными отгибами на полках.

И наконец, третий уровень дерева (рис. 6.3-4) дает возможность выбрать конкретный холодногнутый профиль, который будет использоваться в поперечном сечении стержневого элемента.

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной под рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.3-5). При этом, **пользователю предоставлена возможность откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля!**

Предполагается, что та толщина профиля, которую задает пользователь, является номинальной, то есть уже без учета цинкового покрытия. Заметим, что учета только толщины

цинкового покрытия недостаточно, чтобы вычислить номинальную толщину листа, используемую в расчете (см., например, п. 7.1.5 СП 260.1325800.2016). Необходимо также знать допуск на толщину листовой заготовки. На основании этого было принято решение, что пользователь будет сразу задавать только номинальную толщину листа (без назначения толщины цинкового покрытия и допуска на толщину листовой заготовки).

Для сквозных сечений из холодногнутых профилей, состоящих из отдельных ветвей, совместная работа которых обеспечивается планками, предусмотрены поля ввода для задания параметров планок (рис. 6.3-6).

Ограничения, накладываемые на размеры сечений холодногнутых профилей, а также на параметры составных и сквозных сечений на планках, приведены в таблице 6.3-1.

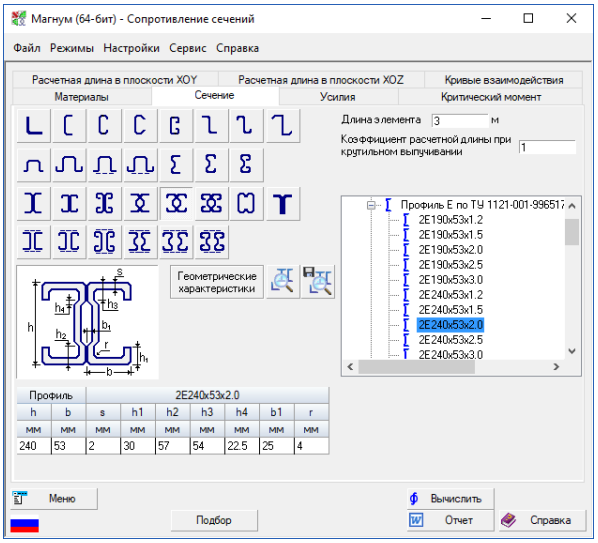


Рис. 6.3-5. Задание размеров поперечного сечения *на странице* **Сечение**

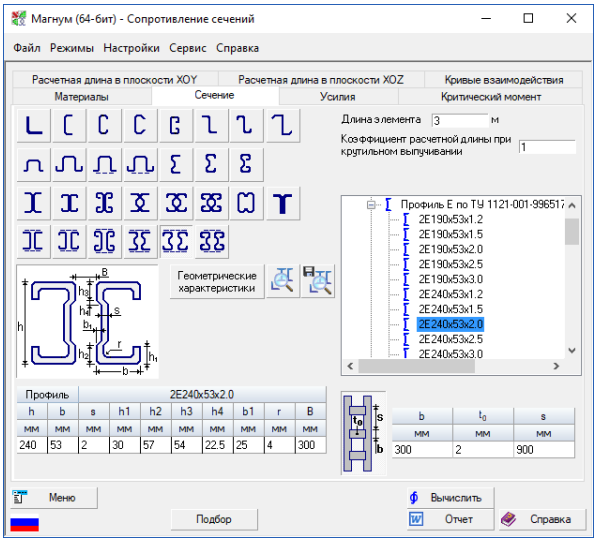


Рис. 6.3-6. Задание параметров планок для сквозных сечений *на странице* **Сечение**

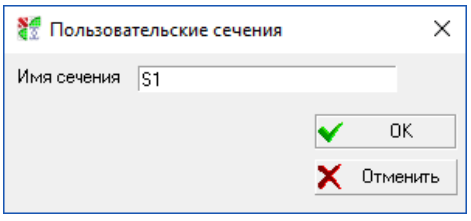


Рис. 6.3-7. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения** (задание имени сечения)

Заданные в программе составные или сквозные сечения из холодногнутых профилей можно сохранить в пользовательской базе данных. Вызов режима записи сечения в базу выполняется нажатием кнопки **Сохранить сечение в базе данных пользователя** — .

Нажатие этой кнопки вызывает диалоговое окно **Пользовательские сечения**, в котором задается имя сохраняемого сечения (рис. 6.3-7). Поскольку программа не контролирует уникальность применяемых имен, то за этим должен следить сам пользователь.

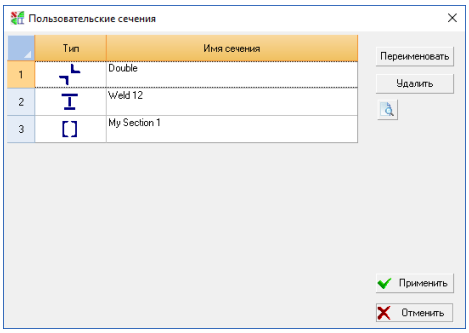


Рис. 6.3-8. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения**

Доступ к сечениям из пользовательской базы активизируется нажатием кнопки **Загрузить сечение из базы данных пользователя** — . Список сечений выводится в диалоговом окне **Пользовательские сечения** (рис. 6.3-8).

Если обнаружится, что в базе имеются повторяющиеся имена, то для переименования профиля следует воспользоваться кнопкой **Переименовать.**

Любое сечение из указанных в окне **Пользовательские сечения** может быть выбрано для работы. Для этого следует отметить в таблице строку с именем нужного сечения и выйти из окна нажатием кнопки **Применить**.

Отметим, что программа не позволяет выбрать ранее сохраненное сечение, если данный тип сечения *неприменим* в том или ином режиме.

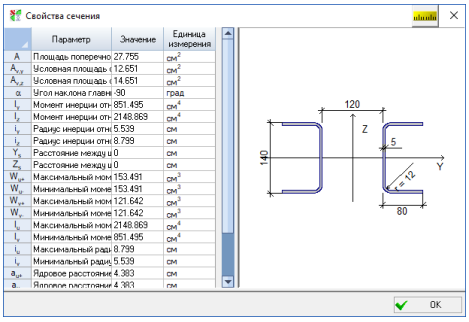


Рис. 6.3-9. *Окно* **Свойства сечения**

Геометрические характеристики выбранного или заданного поперечного сечения из холодногнутых профилей можно просмотреть в окне **Свойства сечения** (рис. 6.3-9), которое появляется после нажатия кнопки **Предварительный просмотр**. Сечение изображается в масштабе с указанием главных осей инерции и основных размеров.

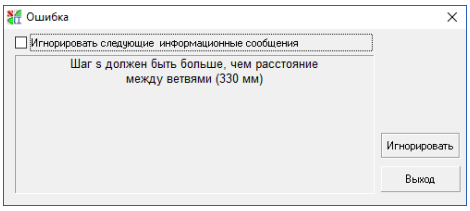


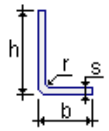
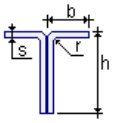
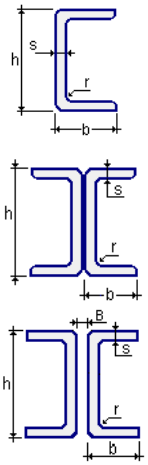
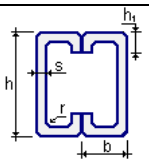
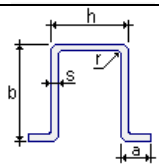
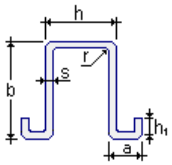
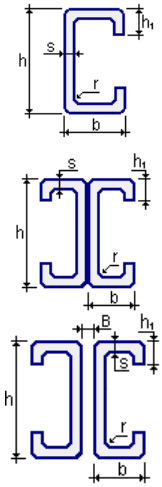
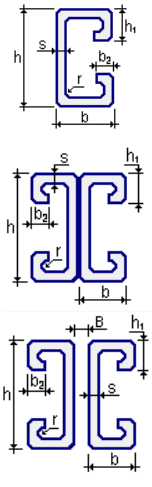
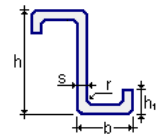
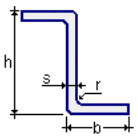
Рис. 6.3-10. *Сообщение* **Ошибка**

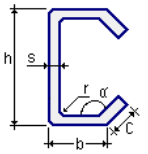
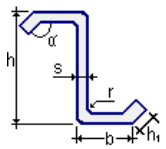
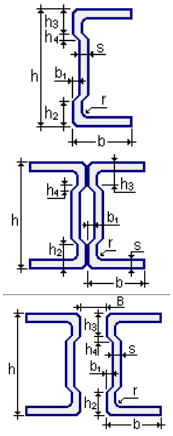
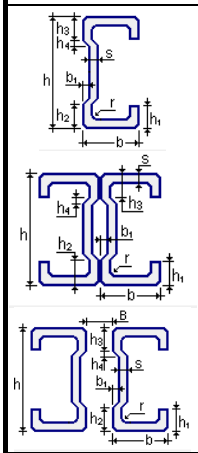
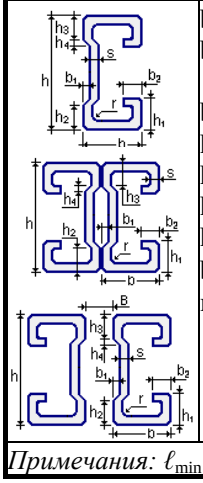
В программе выполняется автоматический контроль конструктивного решения сечения. Список ограничений приведен ниже в таблице 6.3-1. При нарушении этих ограничений на экране появляется сообщение с пояснением смысла допущенной пользователем ошибки (пример показан на рис. 6.3-10).

В некоторых случаях программа дает возможность игнорировать предупреждение о нарушении ограничений (нажатием кнопки «Игнорировать»), но при этом все негативные последствия такого решения не будут анализироваться.

В тех случаях, когда задается неверное числовое значение какой-либо величины (например, символы вместо цифр), текст пояснения выглядит как **Ошибочные данные**. Такой стиль контроля проходит через все режимы.

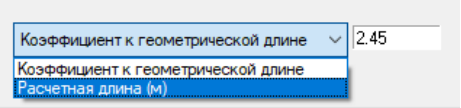
Таблица 6.3-1. Ограничения, накладываемые на размеры холодногнутых профилей и сечений, составленных из холодногнутых профилей

Сечение	Ограничения	Сечение	Ограничения
	$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; где: $h_{min} = b_{min} = r + \ell_{min} + s$;		$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; где: $h_{min} = b_{min} = r + \ell_{min} + s$;
	$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; где: $h_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $b_{min} = r + \ell_{min} + s$;		$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $h_1 \ge h_{1min}$; $h_1 \le h/2$; где: $h_{min} = b_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $h_{1min} = r + \ell_{min} + s$;
			$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $a \ge a_{min}$; где: $h_{min} = b_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $a_{min} = r + \ell_{min} + s$;
			$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $a \ge a_{min}$; $h_1 \ge h_{1min}$; $h_1 \le b$; где: $h_{min} = b_{min} = a_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $h_{1min} = r + \ell_{min} + s$;
	$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $h_1 \ge h_{1min}$; $h_1 \le h/2$; где: $h_{min} = b_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $h_{1min} = r + \ell_{min} + s$;		$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $h_1 \ge h_{1min}$; $b_2 \ge b_{2min}$; $h_1 \le h/2$; $b_2 \le b - s$; где: $h_{min} = b_{min} = h_{1min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $b_{2min} = r + \ell_{min} + s$;
	$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; $h_1 \ge h_{1min}$; $h1 \le h/2$; где: $h_{min} = b_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $h_{1min} = r + \ell_{min} + s$;		$h \ge h_{min}$; $b \ge b_{min}$; где: $h_{min} = 2r + \ell_{min} + 2s$; $b_{min} = r + \ell_{min} + s$;

<table>
<tr><th>Сечение</th><th>Ограничения</th><th>Сечение</th><th>Ограничения</th></tr>
<tr>
<td>  </td>
<td>179º>=α > 0º; c ≤ h/2/sin(180º – α);
h ≥ h_{min}; b ≥ b_{min}; c ≥ c_{min};
где:
h_{min} = 2r + ℓ_{min} + 2s;
b_{min} = r (1 + tg(90º – α/2)) + 2s + ℓ_{min};
c_{min} = r*tg(90º – α/2) + ℓ_{min} + s;</td>
<td>  </td>
<td>179º≥ α > 0º; h_1 ≤ h/2/sin(180º – α);
h ≥ h_{min}; b ≥ b_{min}; h_1 ≥ h_{1min};
где:
h_{min} = 2r + ℓ_{min} + 2s;
b_{min} = r (1 + tg(90º – α/2)) + 2s + ℓ_{min};
h_{1min} = r tg(90º – α/2) + ℓ_{min} + s;</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"> 
b ≥ b_{min}; h_3 ≥ h_{3min}; h_2 ≥ h_{2min}; h_4 ≥ h_{4min}; b_1 ≥ b_{1min}; h ≥ h_{min};
b_1 ≤ b_{1max}; h_2 ≤ h_{2max}; h_3 ≤ h_{3max}; h_4 ≤ h_{4max};
где:
b_{min} = r+ ℓ_{min} + s; α = arctg(b_1/h_4);
h_{3min} = h_{2min} = r + s + ℓ_{min} + (r + s)/tg(90º– α/2);
h_{4min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) cos(α);
b_{1min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) sin(α);
h_{min} = h_{3min} + h_{2min} + 2h_{4min} + 2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}; b_{1max} = b – s;
h_{2max} = h_{3max} = (h – 2(r + s)/tg(90º– α/2)– ℓ_{min} –2h_{4min})/2;
h_{4max} = (h – h_{2min} – h_{3min} – 2(r + s)/tg(90º– α/2) – ℓ_{min})/2;</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"> 
b ≥ b_{min}; h_3 ≥ h_{3min}; h_2 ≥ h_{2min}; h_4 ≥ h_{4min}; b_1 ≥ b_{1min}; h ≥ h_{min};
b_1 ≤ b_{1max}; h_2 ≤ h_{2max}; h_3 ≤ h_{3max}; h_4 ≤ h_{4max}; h_1 ≤ h/2;
где:
b_{min} = 2r + ℓ_{min} + 2s; α = arctg(b_1/h_4);
h_{3min} = h_{2min} = r + s + ℓ_{min} + (r + s)/tg(90º– α/2);
h_{4min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) cos(α);
b_{1min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) sin(α);
h_{min} = h_{3min} + h_{2min} + 2h_{4min} + 2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}; b_{1max} = b – s;
h_{2max} = h_{3max} = (h –2(r + s)/tg(90º– α/2) – ℓ_{min} –2h_{4min})/2;
h_{4max} = (h – h_{2min} – h_{3min} –2 (r + s)/tg(90º– α/2) – ℓ_{min})/2;</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4"> 
b ≥ b_{min}; h_3 >= h_{3min}; h_2 >= h_{2min}; h_4 ≥ h_{4min}; b_1 ≥ b_{1min}; h ≥ h_{min};
b_1 ≤ b_{1max}; h_2 ≤ h_{2max}; h_3 ≤ h_{3max}; h_4 ≤ h_{4max}; h_1 ≤ h/2; b_2 ≤ b_{2min};
где:
b_{min} = 2r + ℓ_{min} + 2s; α = arctg(b_1/h_4); h_{3min} = h_{2min}=r + s + ℓ_{min} + (r + s)/tg(90º– α/2);
h_{4min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) cos(α); b_{1min} = (2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}) sin(α);
h_{min} = h_{3min} + h_{2min} + 2h_{4min} + 2(r + s)/tg(90º– α/2) + ℓ_{min}; b_{1max} = b – s;
h_{2max} = h_{3max} = (h –2 (r + s)/tg(90º– α/2) – ℓ_{min} –2h_{4min})/2;
h_{4max} = (h – h_{2min} – h_{3min} – 2(r + s)/tg(90º– α/2) – ℓ_{min})/2;
b_{2min} = b – b_1 – s – при h_1 ≥ h_2 + h_4;
иначе:
b_{2min} = b – s – при h_1 ≤ h_2;
b_{2min} = b – s/cos(α) – (h_1 – h_2)tg(α) – при h_1 > h_2;</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4">Примечания: ℓ_{min} – минимальный линейный размер сечения, ℓ_{min} = 1 мм</td>
</tr>
</table>

6.4 Задание расчетных длин

В некоторых режимах требуется задание данных о расчетных длинах конструктивных элементов. Во многих случаях в программе предусмотрено задание такого типа информации либо в виде коэффициента расчетной длины либо в виде расчетной длины. Переключение способа ввода данных осуществляется с помощью выпадающего списка, который расположен рядом с полем ввода:



6.5 Дополнительные настройки

Во многих режимах рядом с иконкой, указывающей на выбранные нормы проектирования, расположена кнопка , позволяющая активизировать специальное диалоговое окно для задания дополнительных ограничений, которые должны быть использованы при расчете сечений стальных элементов (рис. 6.5-1).

В частности, в этом окне можно задать ограничения на высоту сечения и ширину сечения.

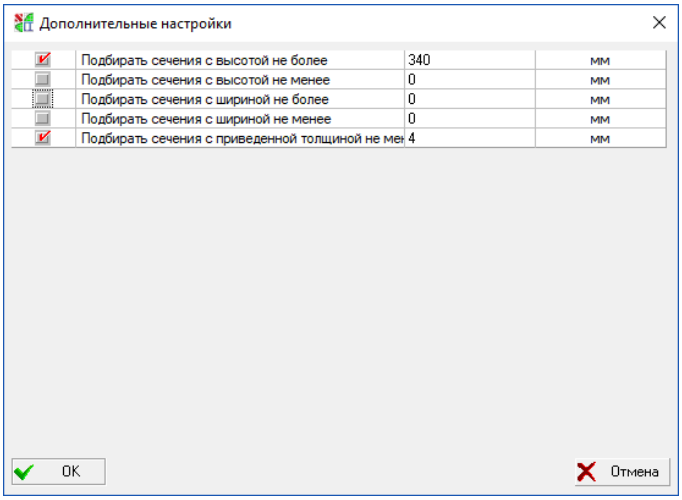


Рис. 6.5-1. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

При расчете на действие особых загружений по умолчанию используются нормативные, а не расчетные свойства материалов (см. п. 5.6 СП 296.1325800.2017). Поскольку данный пункт был исключен Изменением № 2 к СП 296.1325800.2017, пользователь может (используя соответствующий маркер) сам выбрать какие свойства материалов (расчетные или нормативные) использовать.

6.6 Вспомогательные режимы

6.6.1 Сталь

Справочный режим **Сталь** обеспечивает возможность просмотра значений механических характеристик (нормативного и расчетного сопротивления) сталей, используемых для несущих элементов

из холодноформованных профилей по ГОСТ Р 52246 и ГОСТ 14919 (при проектировании по СП 260.1325800), а также в соответствии с требованиями EN 10346, EN 10025-2, EN 10025-3 и EN 10025-4 (при проектировании по EN 1993).

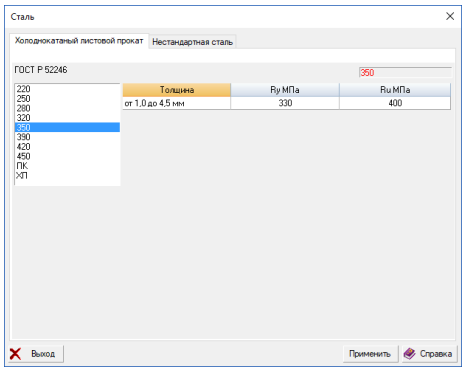


Рис. 6.6.1-1. *Страница* **Холоднокатаный листовой прокат** *режима* **Стали** (при проектировании по СП 260.1325800)

На странице **Холоднокатаный листовой прокат** (рис. 6.6.1-1, рис. 6.6.1-2) приведены справочные данные о расчетных сопротивлениях по пределу текучести и временному сопротивлению холоднокатаного листового проката, используемого для конструкций из холодногнутых профилей.

В том случае, когда режим **Сталь** был вызван из другого расчетного режима программы **Магнум**, в главном окне режима **Сталь** появляется кнопа **Применить** (рис. 6.6.1-3), используемая для передачи в расчетный режим данных о расчетных сопротивлениях выбранной пользователем стали.

Если необходимо использовать в расчете сталь с механическими характеристиками, которые отличаются от представленных в нормах, тогда можно воспользоваться страницей **Нестандартная сталь** (рис. 6.6.1-3) режима **Сталь**. На этой странице пользователю предоставлена возможность задать расчетные сопротивления стали по пределу текучести и по временному сопротивлению, которые в дальнейшем будут использоваться в расчете.

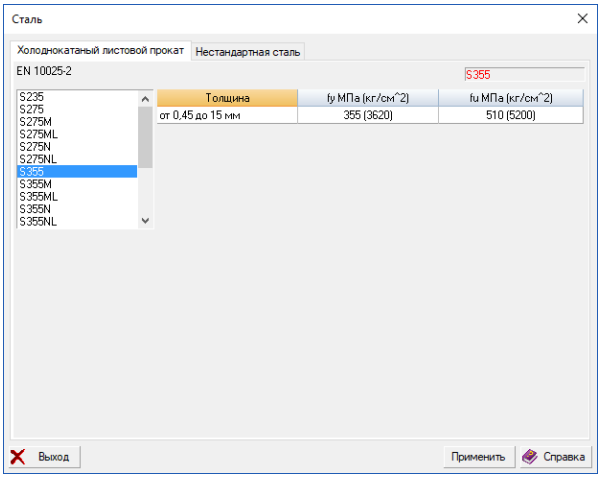


Рис. 6.6.1-2. *Страница* **Холоднокатаный листовой прокат** *режима* **Стали** (при проектировании по EN 1993)

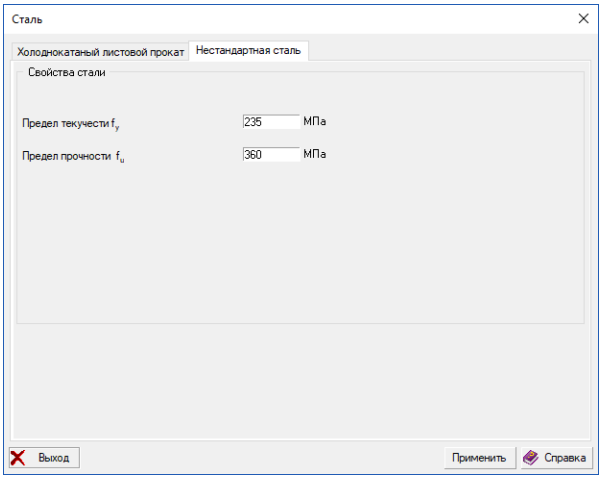


Рис. 6.6.1-3. *Страница* **Нестандартная сталь** *режима* **Стали** (вызов из другого расчетного режима программы **Магнум**)

6.6.2 Сортамент металлопроката

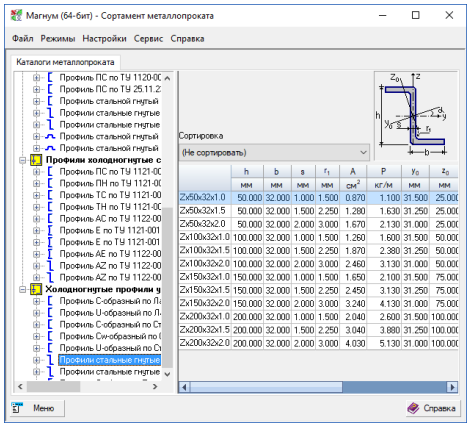


Рис. 6.6.2-1. *Страница* **Каталоги металлопроката** *режима* **Сортамент металлопроката** (пользователем выбран сортамент)

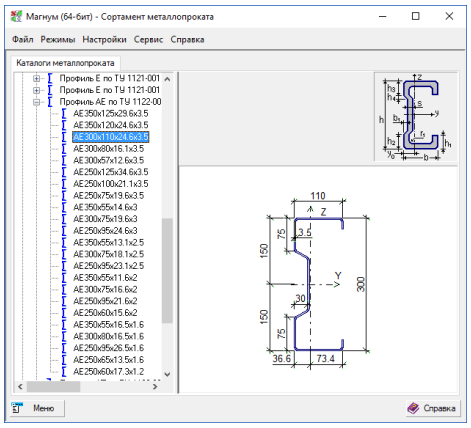


Рис. 6.6.2-2. *Страница* **Каталоги металлопроката** *режима* **Сортамент металлопроката** (пользователем выбран конкретный профиль)

Режим **Сортамент металлопроката** (рис. 6.6.2-1) дает возможность просмотра сортаментов холодногнутых профилей, представленных в базе данных программы **Магнум**.

Главное окно режима включает список сортаментов, представленный слева в виде древовидной структуры, и таблицу с набором данных о соответствующих холодногнутых профилях, расположенную справа. Над таблицей помещен выпадающий список параметров профиля **Сортировка**, по которым обеспечивается сортировка отображаемой таблицы.

Если в древовидной структуре базы сортаментов пользователем выбран конкретный холодногнутый профиль, то в окне справа будет показан его детальный чертеж со всеми размерами (рис. 6.6.2-2).

6.6.3 Коэффициенты условий работы

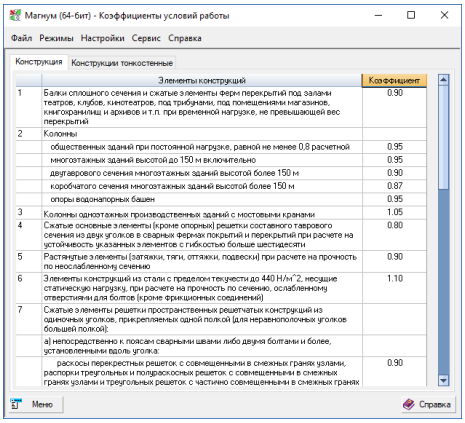


Рис. 6.6.3-1. *Страница* **Конструкция** *режима* **Коэффициенты условий работы**

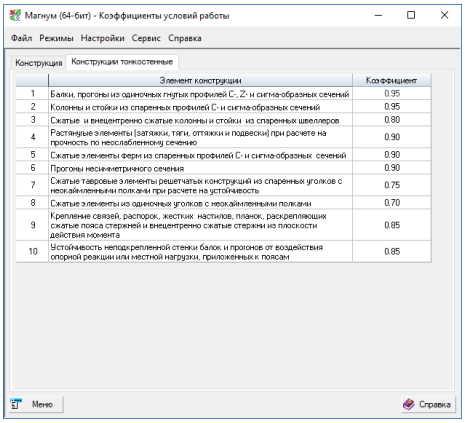


Рис. 6.6.3-2. *Страница* **Конструкции тонкостенные** *режима* **Коэффициенты условий работы**

Режим **Коэффициенты условий работы** предназначен для просмотра и выбора значений коэффициентов условий работы (γ_c) для конструкций и несущих элементов из холодногнутых профилей. При проектировании по EN 1993 данный режим отсутствует.

Главное окно этого режима состоит из двух страниц **Конструкция** (рис. 6.6.3-1) и **Конструкции тонкостенные** (рис. 6.6.3-2), каждая из которых содержит сведения о значениях коэффициентов условий работы, представленные соответственно в таблице 5.1 СП 260.1325800 и таблице 1 СП 16.13330.

Если режим **Коэффициенты условий работы** вызван из некоторого расчетного режима программы **Магнум**, то нажатием кнопки **Применить** выбранное значение коэффициента экспортируется в данный расчетный режим и будет использовано для нормативных проверок несущих элементов конструкций из холодногнутых профилей (рис. 6.6.3-2).

6.6.4 Предельные прогибы

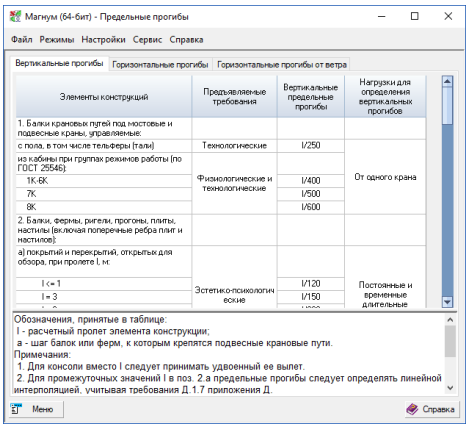


Рис. 6.6.4-1. *Диалоговое окно* **Предельные прогибы**

Режим **Предельные прогибы** предназначен для просмотра таблиц СП 20.13330 "Нагрузки и воздействия" с ограничениями на прогибы и перемещения несущих элементов конструкций. При проектировании по EN 1993 данный режим отсутствует.

Главное окно этого режима содержит три страницы (рис. 6.6.4-1): **Вертикальные прогибы**, **Горизонтальные прогибы** и **Горизонтальные прогибы от ветра**, на которых представлены данные из таблиц СП 20.13330.

6.7 Вспомагательные режимы

6.7.1 Огибающие

Этот режим предназначен для решения частной задачи определения невыгодных основных сочетаний многих нагрузок, действующих на изгибаемые элементы.

Необходимо отметить, что в числе временных нагрузок неявно присутствует и полностью нулевая (она реализует возможность отсутствия всех временных нагрузок). Поэтому при подсчете максимальных значений (например, моментов) учитывается наибольшее из числа положительных моментов и нулевого значения, а при определении минимальных значений — наименьшее из отрицательных моментов и нуля.

В диалоговом окне **Огибающие** (рис. 6.7.1-1) задается пролет балки (введенное значение фиксируется нажатием кнопки **Применить**). С помощью расположенных справа вверху кнопок выбирается один из способов опирания: двустороннее защемление; шарнирное опирание с двух сторон; шарнир с одной стороны и защемление с другой или консольная схема.

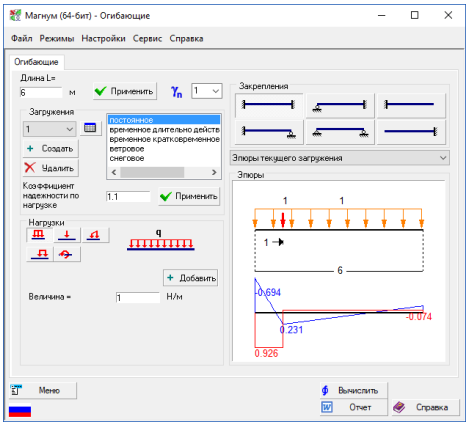


Рис. 6.7.1-1. *Диалоговое окно* **Огибающие**

В программе предусмотрена возможность расчета на несколько (до десяти) вариантов загружения, при этом каждое загружение может состоять из нескольких нагрузок.

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Нагрузки;**
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, снеговое или ветровое), что определяет нормативные коэффициенты сочетаний, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- изменить, если нужно, величину коэффициента надежности по нагрузке;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

Для каждого загружения можно задать несколько компо-

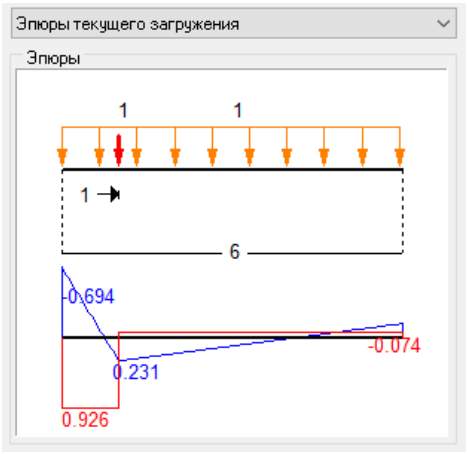


Рис. 6.7.1-2. Эпюры моментов и поперечных сил

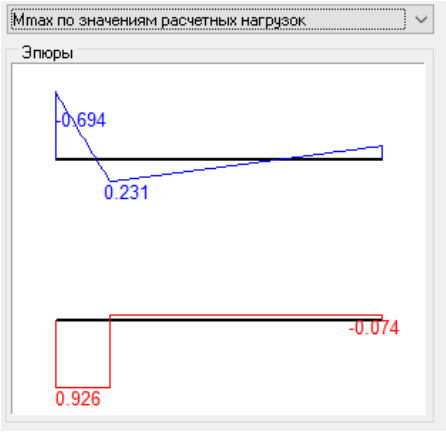


Рис. 6.7.1-3. Огибающие эпюры

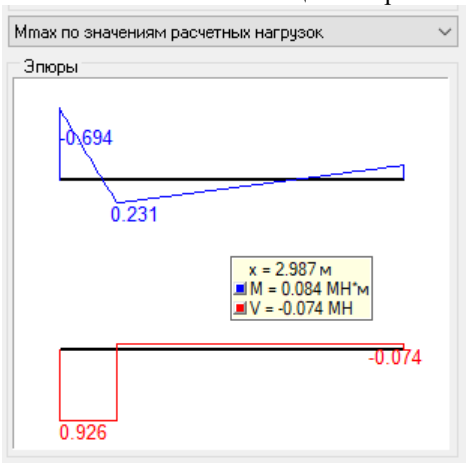


Рис. 6.7.1-4. Указание на эпюре значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении

нентов нагрузки. Предполагается, что задаются расчетные значения нагрузок.

В зависимости от вида нагрузки ее характеристики включают:

- для распределенных нагрузок — интенсивность нагрузки;
- для распределенной нагрузки на части пролета — интенсивность нагрузки, позицию и ширину приложения;
- для сосредоточенной силы — величину силы и ее положение в пролете;
- для сосредоточенного момента — величину момента и его положение в пролете.

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить.**

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, то достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения, а под ним — совмещенная схема эпюры моментов и поперечных сил (рис. 6.7.1-2). После ввода всех загружений можно просмотреть, какой вид имеют значения экстремальных моментов и соответствующих им поперечных сил, а также экстремальных поперечных сил и соответствующих им моментов. Для этого следует выбрать в выпадающем списке, расположенном над полем **Эпюры**, вид интересующей информации (рис. 6.7.1-3). Огибающие эпюры максимальных и минимальных усилий показываются раздельно.

Если установить курсор в поле эпюры, то на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении, которое соответствует положению курсора (рис. 6.7.1-4).

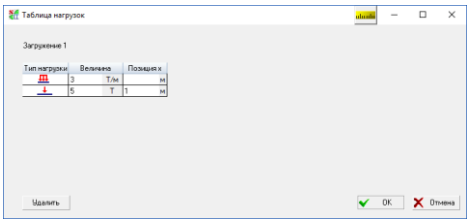


Рис. 6.7.1-5. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

Для корректировки (в том числе и удаления) отдельных нагрузок в рамках одного загружения можно воспользоваться таблицей нагрузок, которая выводится в одноименное диалоговое окно (рис. 6.7.1-5) по нажатию кнопки . В этой таблице можно поменять величину нагрузки или ее привязку, а также удалить одну или несколько нагрузок. В последнем случае следует отметить курсором пиктограмму с изображением удаляемой нагрузки и нажать кнопку **Удалить**.

6.7.2 Линии влияния

Режим предназначен для построения линий влияния в многопролетных неразрезных балках постоянного поперечного сечения. Рассматриваются только линии влияния изгибающих моментов и перерезывающих сил.

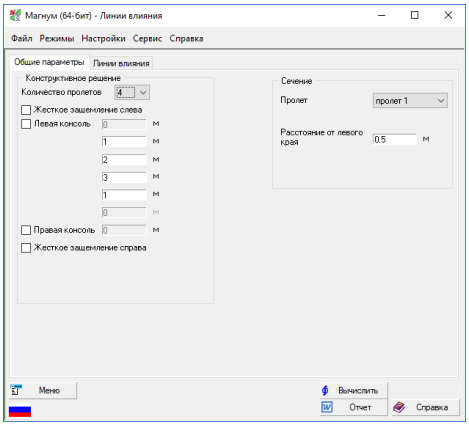


Рис. 6.7.2-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Линии влияния**

На странице **Общие параметры** (рис. 6.7.2-1) в группе **Конструктивное решение** задается схема многопролетной балки, которая определяется количеством пролетов, их величинами и наличием или отсутствием консолей. Если задать жесткое защемление (справа и/или слева), то пропадает возможность задания соответствующей консоли. В группе **Сечение** выбирается пролет и указывается расстояние от его левого края до сечения, в котором следует построить линии влияния. Получить линии влияния можно, нажав кнопку **Вычислить** или открыв страницу **Линии влияния**.

На странице **Линии влияния** (см. рис. 6.7.2-2) приводятся конструктивная схема балки и две линии влияния (изгибающих моментов и перерезывающих сил). Если установить курсор в любую точку по длине балки, то на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в указанном курсором сечении.

В таблицах, расположенных слева от изображения линий влияния, содержится информация о площадях линий влияния на участках между нулевыми точками, с помощью которых можно найти значения момента и/или перерезывающей силы при действии равномерно распределенной временной нагрузки.

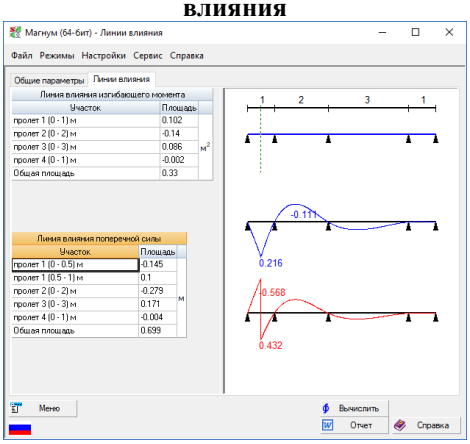


Рис. 6.7.2-2. *Страница* **Линии влияния** одноименного *режима*

6.7.3 Геометрические характеристики

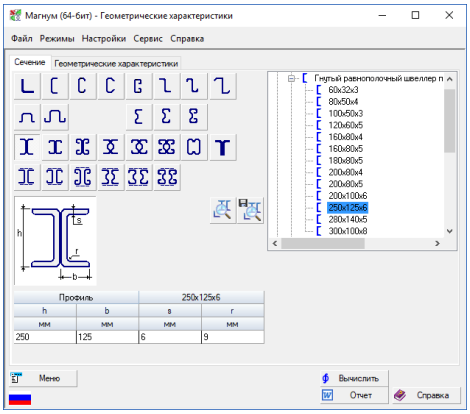


Рис. 6.7.3-1. *Страница* **Сечение** *режима* **Геометрические характеристики сечений**

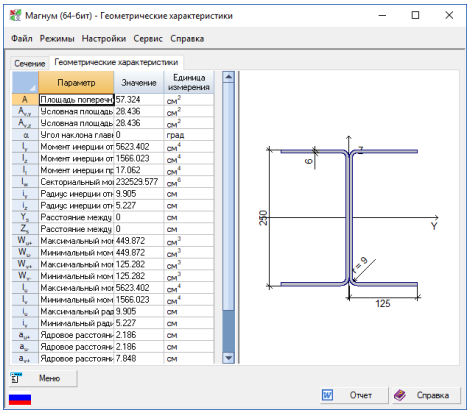


Рис. 6.7.3-2. *Страница* **Геометрические характеристики** одноименного *режима*

Вспомогательный режим **Геометрические характеристики** предназначен для вычисления геометрических характеристик сечений из холодногнутых профилей.

Исходные данные о сечении вводятся пользователем на странице **Сечение** (рис. 6.7.3-1). Выбор конкретного холодногнутого профиля или конструирование поперечного сечения из холодногнутых профилей подробно описано в разделе 6.3.

Вычисленные геометрические характеристики выбранного или заданного пользователем поперечного сечения из холодногнутых профилей можно просмотреть на странице **Геометрические характеристики** (рис. 6.7.3-1).

Геометрические характеристики сечений стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей вычисляются в данном режиме с учетом закруглений в местах сопряжений элементов сечений (полок и стенок) друг с другом.

6.7.4 Расчетные длины

Режим **Расчетные длины** предназначен для вычисления расчетных длин стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей в зависимости от их условий закрепления в соответствии с рекомендациями СП 16.13330 и EN 1993-1-1. Результатом работы данного режима является величина коэффициента расчетной длины.

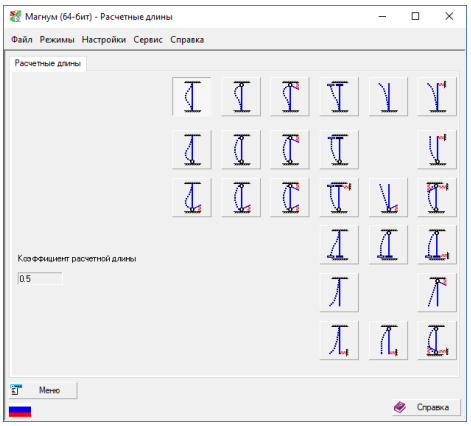


Рис. 6.7.4-1. *Страница* **Расчетные длины** одноименного *режима* (выбраны идеализированные граничные условия)

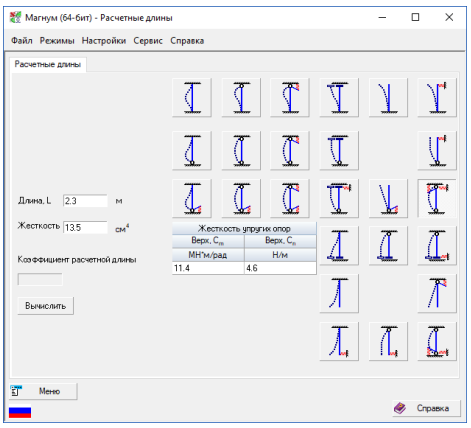


Рис. 6.7.4-2. *Страница* **Расчетные длины** одноименного *режима* (выбраны концевые закрепления с упругими опорами)

На странице **Расчетные длины** представлено набор возможных вариантов концевых закреплений стержневых элементов конструкций с идеализированными граничными условиями. Выбор конкретного варианта концевого закрепления осуществляется нажатием соответствующей кнопки (рис. 6.7.4-1), одновременно в поле **Коэффициент расчетной длины** появляется значение данного коэффициента в соответствии с указаниями нормативных документов. При этом рассматривается только случай нагружения стержневого элемента продольной силой, приложенной на конце.

Если выбраны концевые закрепления с упругими опорами относительно смещений или поворотов (рис. 6.7.4-2), то в соответствующих полях ввода необходимо задать числовую информацию о жесткости опор. После нажатия кнопки **Вычислить** в поле **Коэффициент расчетной длины** появится вычисленное значение данного коэффициента в соответствии с требованиями СП 16.13330.

6.8 Расчетные режимы

Последующие режимы являются функциональными и предназначены для проверки конструктивных решений стальных конструкций из холодногнутых профилей на соответствие требованиям нормативных документов по прочности, общей устойчивости и деформативности. Кроме того, эти режимы позволяют провести исследования несущей способности стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей путем построения кривых взаимодействия.

Набор проверок несущей способности стержневых элементов конструкций из холодногнутых профилей определяется типом поперечного сечения и набором внутренних усилий, действующих в нем. Проверки, реализованные в программе, представлены в табл. 6.8-1.

Таблица 6.8-1. Проверки несущей способности стержневых элементов из холодногнутых профилей, реализованные в программе Магнум

Проверка	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-3	Ссылка на СП 260.1325800
Прочность при действии продольной силы растяжения N	п. 6.2.3 (6.5)	п. 6.1.2 (6.1)	п. 7.7.2.1 (7.68)
Прочность при действии продольной силы сжатия N	п. 6.2.4 (6.9)	п. 6.1.3 (6.3)	п. 7.7.2.2 (7.69)
Прочность при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.4 (6.9)	п. 6.1.3 (6.2)	п. 7.7.2.2 (7.69)
Прочность при действии изгибающего момента M_y с учетом пластических деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.5)	не вычисляется
Прочность при действии изгибающего момента M_y в границах упругих деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.6)	п. 7.7.3 (7.75)
Прочность при действии изгибающего момента My с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.4)	п. 7.7.3 (7.74)
Прочность при действии изгибающего момента M_z с учетом пластических деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.5)	не вычисляется
Прочность при действии изгибающего момента M_z в границах упругих деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.6)	п. 7.7.3 (7.75)
Прочность при действии изгибающего момента M_z с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.5 (6.12)	п. 6.1.4 (6.4)	п. 7.7.3 (7.74)
Прочность при одновременном действии изгибающих моментов M_y и M_z с учетом пластических деформаций стали		п. 6.1.4 (6.5), (6.7)	не вычисляется
Прочность при одновременном действии изгибающих моментов M_y и M_z в границах упругих деформаций стали		п. 6.1.4 (6.6), (6.7)	п. 7.7.3 (7.76)
Прочность при одновременном действии изгибающих моментов M_y и M_z с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.4 (6.4), (6.7)	п. 7.7.3 (7.76)
Прочность при действии поперечной силы Q_z	п. 6.2.6 (6.17)	п. 6.1.5 (6.8)	п. 7.7.6 (7.79)
Прочность при действии поперечной силы Q_y	п. 6.2.6 (6.17)	п. 6.1.5 (6.8)	п. 7.7.6 (7.79)
Прочность при одновременном действии изгибающего момента My и поперечной силы Q_z	п. 6.2.8 (6.29)	п. 6.1.10 (6.27)	п.7.3 (7.75), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность при одновременном действии изгибающего момента My и поперечной силы Q_z с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.8 (6.29)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.3 (7.74), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность при одновременном действии изгибающего момента M_z и поперечной силы Q_y	п. 6.2.8 (6.29)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.3 (7.75), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность при одновременном действии изгибающего момента M_z и поперечной силы Q_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.8 (6.29)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.3 (7.74), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность при совместном действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y и M_z		п. 6.1.8 (6.23), (6.24), п. 6.1.9 (6.25), (6.26)	п. 7.7.4 (7.77)
Прочность при совместном действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y и M_z с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.8 (6.23), (6.24), п. 6.1.9 (6.25), (6.26)	п. 7.7.4 (7.77)
Прочность при совместном действии продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и поперечных сил Q_z, Q_y		п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.4 (7.77), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность при совместном действии продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и поперечных сил Q_z, Q_y с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.4 (7.77), п. 7.7.5 (7.78)
Интегральная прочность по нормальным напряжениям от от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и бимомента B		п. 6.1.6 (6.11a)	п. 7.7.7 (7.82)
Интегральная прочность по нормальным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и бимомента B с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.6 (6.11a)	п. 7.7.7 (7.82)

Проверка	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-3	Ссылка на СП 260.1325800
Интегральная прочность по касательным напряжениям от действия поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T и момента стесненного кручения M_w		п. 6.1.6 (6.11b)	п. 7.7.7 (7.83)
Интегральная прочность по приведенным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z, поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T, бимомента B и момента стесненного кручения M_w		п. 6.1.6 (6.11c)	п. 7.7.7 (7.84)
Интегральная прочность по приведенным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z, поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T, бимомента B и момента стесненного кручения M_w с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.6 (6.11c)	п. 7.7.7 (7.84)
Устойчивость при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость при действии продольной силы N (крутильное и изгибно-крутильное выпучивание)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.49), (6.52), (6.53)	п. 6.2.3	п. 7.7.8 (7.87), (7.89) – (7.92)
Устойчивость при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (крутильное и изгибно-крутильное выпучивание)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.49), (6.52), (6.53)	п. 6.2.3	п. 7.7.8 (7.87), (7.89) – (7.92)
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_y с учетом упруго-пластических деформаций стали	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	не вычисляется
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_y	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_z с учетом упруго-пластических деформаций стали	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	не вычисляется
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_z	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость плоской формы изгиба при действии изгибающего момента M_z с учетом потери местной устойчивости	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость при действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y, M_z	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость при действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y, M_z с учетом потери местной устойчивости	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость при действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y, M_z с учетом потери устойчивости плоской формы изгиба	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость при действии продольной силы N и изгибающих моментов M_y, M_z с учетом потери устойчивости плоской формы изгиба и потери местной устойчивости	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Прочность ветви при действии продольной силы растяжения N	п. 6.2.3 (6.5), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.2 (6.1)	п. 7.7.2.1 (7.68)
Прочность ветви при действии продольной силы сжатия N	п. 6.2.4 (6.9), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.3 (6.3)	п. 7.7.2.2 (7.68)

Проверка	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-3	Ссылка на СП 260.1325800
Прочность ветви при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.4 (6.9), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.3 (6.2)	п. 7.7.2.1 (7.69)
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_y с учетом пластических деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.4 (6.5)	не вычисляется
Прочность ветви при действии изгибающего момента My в границах упругих деформаций стали	п. 6.2.5 (6.12), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.4 (6.6)	п. 7.7.3 (7.75)
Прочность ветви при действии изгибающего момента M_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.5 (6.12), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.4 (6.4)	п. 7.7.3 (7.74)
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_z	п. 6.2.6 (6.17), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.5 (6.8)	п. 7.7.6 (7.79)
Прочность ветви при действии поперечной силы Q_y	п. 6.2.6 (6.17), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.5 (6.8)	п. 7.7.6 (7.79)
Прочность ветви при одновременном действии изгибающего момента M_y и поперечной силы Q_z	п. 6.2.8 (6.29), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.3 (7.75), 7.7.5 (7.78)
Прочность ветви при одновременном действии изгибающего момента M_y и поперечной силы Q_z с учетом потери местной устойчивости	п. 6.2.8 (6.29), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.3 (7.74), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность ветви при совместном действии продольной силы N и изгибающего момента M_y	п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.8 (6.23), (6.24), п. 6.1.9 (6.25), (6.26)	п. 7.7.4 (7.77)
Прочность ветви при совместном действии продольной силы N и изгибающего момента M_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.8 (6.23), (6.24), п. 6.1.9 (6.25), (6.26)	п. 7.7.4 (7.77)
Прочность ветви при совместном действии продольной силы N, изгибающего момента M_y и поперечных сил Q_z, Q_y	п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.4 (7.77), п. 7.7.5 (7.78)
Прочность ветви при совместном действии продольной силы N, изгибающего момента M_y и поперечных сил Q_z, Q_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.1.10 (6.27)	п. 7.7.4 (7.77), п. 7.7.5 (7.78)
Интегральная прочность ветви по нормальным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и бимомента B	–	п. 6.1.6 (6.11a)	п. 7.7.7 (7.82)
Интегральная прочность ветви по нормальным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z и бимомента B с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.6 (6.11a)	п. 7.7.7 (7.82)
Интегральная прочность ветви по касательным напряжениям от действия поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T и момента стесненного кручения M_w		п. 6.1.6 (6.11b)	п. 7.7.7 (7.83)
Интегральная прочность ветви по приведенным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z, поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T, бимомента B и момента стесненного кручения M_w		п. 6.1.6 (6.11c)	п. 7.7.7 (7.84)
Интегральная прочность ветви по приведенным напряжениям от действия продольной силы N, изгибающих моментов M_y, M_z, поперечных сил Q_z, Q_y, момента свободного кручения T, бимомента B и момента стесненного кручения M_w с учетом потери местной устойчивости		п. 6.1.6 (6.11c)	п. 7.7.7 (7.84)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)

Проверка	Ссылка на EN 1993-1-1	Ссылка на EN 1993-1-3	Ссылка на СП 260.1325800
Устойчивость ветви при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.51), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.2	п. 7.7.8 (7.87), (7.88)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N (крутильное и изгибно-крутильное выпучивание)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.49), (6.52), (6.53), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.3	п. 7.7.8 (7.87), (7.89) – (7.92)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (крутильное и изгибно-крутильное выпучивание)	п. 6.3.1 (6.46) – (6.49), (6.52), (6.53), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.3	п. 7.7.8 (7.87), (7.89) – (7.92)
Устойчивость ветки при действии изгибающего момента M_y (потеря устойчивости плоской формы изгиба с учетом упруго-пластических деформаций стали)	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57)	п. 6.2.4	не вычисляется
Устойчивость ветви при действии изгибающего момента My (потеря устойчивости плоской формы изгиба)	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость ветви при действии изгибающего момента M_y с учетом потери местной устойчивости (потеря устойчивости плоской формы изгиба)	п. 6.3.2 (6.54) – (6.57), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.4	п. 7.7.9 (7.93) – (7.98)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N и изгибающего момента M_y	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N и изгибающего момента M_y с учетом потери местной устойчивости	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N и изгибающего момента M_y с учетом потери устойчивости плоской формы изгиба	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Устойчивость ветви при действии продольной силы N и изгибающего момента M_y с учетом потери устойчивости плоской формы изгиба и потери местной устойчивости	п. 6.3.3 (6.61) – (6.62), п. 6.4.1 (6.69)	п. 6.2.5(1)	п. 7.7.10 (7.99) – (7.100)
Несущая способность планки	п. 6.2.5 (6.12), п. 6.2.6 (6.17), п. 6.2.8 (6.29), п. 6.4.1 (6.70), п. 6.4.3.1 (6.73), (6.74)	–	п. 7.7.11.7 (7.106), п. 7.7.11.8
Общая устойчивость сквозного стержня при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	–	–	п. 7.7.11.7 (7.87), (7.88), (7.102) – (7.105)
Общая устойчивость сквозного стержня при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси y-y)	–	–	п. 7.7.8 (7.87), (7.88), (7.102) – (7.105)
Общая устойчивость сквозного стержня при действии продольной силы N (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	–	–	п. 7.7.8 (7.87), (7.88), (7.102) – (7.105)
Общая устойчивость сквозного стержня при действии продольной силы N с учетом потери местной устойчивости (изгибное выпучивание относительно оси z-z)	–	–	п. 7.7.8 (7.87), (7.88), (7.102) – (7.105)
Гибкость ветви	–	–	п. 7.7.11.5, п. 7.7.11.6

Не предусмотрено выполнение проверок:

- ослабленных сечений, в которых имеются отверстия для устройства болтового соединения;
- расчета болтового крепления планок к ветвям сквозного сечения из холодногнутых профилей;

- местного напряжения в стенке/стенках поперечного сечения от действия приложенной сосредоточенной силы или опорной реакции.

Ограничения реализации

1. Нормы СП 260.1325800 для сжато-изогнутых элементов рекомендуют при определении относительного эксцентриситета принимать в качестве расчетного момент в сечении, которое расположено в определенной зоне стержня. Эта зона определяется в зависимости от варианта концевых закреплений стержня, о которых программа не имеет информации. Поэтому в запас надежности используется значение изгибающего момента, максимального по длине элемента.

2. Нормы не рассматривают задачу устойчивости растянуто-изогнутого стержня, но попросту не выполнять его проверку на устойчивость было бы неосторожно, поскольку при относительно небольшом растяжении потеря устойчивости все же может оказаться реальной (для упругого стержня это случилось бы тогда, когда в какой-нибудь фибре имеется сжатие, для упруго пластического стержня найти такую границу сложнее). Поскольку нормы не установили границу этого "относительно небольшого растяжения", в запас надежности проверка устойчивости растянуто-изогнутого стержня сведена к проверке устойчивости плоской формы изгиба.

3. При вычислении коэффициентов взаимодействия k_{yy}, k_{yz} значение внутреннего изгибающего момента принимается равномерно распределенным по длине стержня. Такой подход обеспечивает максимальный запас надежности.

4. Коэффициенты взаимодействия при проверке общей устойчивости стержневых элементов конструкций при действии продольного усилия сжатия и изгибающих моментов определяются согласно приложений А (метод 1) или В (метод 2) EN1993-1-1:2005. При вычислении коэффициента k_{zy} нормы различают элементы чувствительные к деформациям кручения или же элементы, не чувствительные к таким деформациям.

При вычисления коэффициента k_{zy} решение о том, является ли элемент чувствительным к деформациям кручения или к потере устойчивости плоской формы изгиба или не является таковым, принимается программой автоматически на основании значений коэффициентов устойчивости χ_{LT} и χ_{TF}, которые соответствуют потере устойчивости плоской формы изгиба и потере устойчивости при изгибно-крутильном выпучивании соответственно. В том случае, когда $\chi_{LT} < 1.0$ или $\chi_{TF} < 1.0$ считается, что элемент является чувствительным к деформациям кручения. При этом пользователю предоставлена возможность, активировав маркер **Закреплено от кручения**, напрямую указать, что элемент не является чувствительным к деформациям кручения (например, в случае когда элемент по всей своей длине раскреплен соответствующими связями).

6.8.1 Сопротивление сечений

В режиме **Сопротивление сечений** программы **Магнум** реализуется вычисление несущей способности стержневого элемента из холодногнутых профилей с заданным типом поперечного сечения. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции, а также момента свободного кручения, бимомента и момента стесненного кручения. Реализован весь комплекс проверок по прочности и общей устойчивости несущих элементов из холодногнутых профилей в соответствии с выбранным нормативным документом.

Окно режима **Сопротивление сечений** содержит следующие страницы: **Материалы** (рис. 6.8.1-1, рис. 6.8.1-2)**, Сечение** (рис. 6.8.1-3), **Усилия** (рис. 6.8.1-4, рис. 6.8.1-5), **Критический момент** (рис. 6.8.1-6, рис. 6.8.1-7), **Расчетная длина в плоскости XoY** (рис. 6.8.1-8), **Расчетная длина в плоскости XoZ**,

Кривые взаимодействия (рис. 6.8.1-11). Последняя страница используется для анализа результатов расчета, а остальные – для ввода исходных данных.

Страница **Материалы** (рис. 6.8.1-1) содержит кнопки доступа к информационным режимам **Сталь** – и **Коэффициент условий работы** – . Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1933 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.8.1-2). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки метала для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение не учитывается, соответствующий маркер на странице **Материалы** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.8.1-1).

На странице **Материалы** можно также использовать маркеры **Закреплено от кручения** и **Депланации не стеснены**. При выборе первой опции предполагается, что элемент по всей длине надежно раскреплен связями от кручения, и при расчете не будет учитываться крутящий момент (в том числе кручение, обусловленное действием поперечной силы при эксцентриситете центра изгиба относительно центра масс). При выборе второй опции предполагается, что опорные сечения элемента свободно депланируют, вследствие чего при расчете не будет учитываться бимомент и момент стесненного кручения.

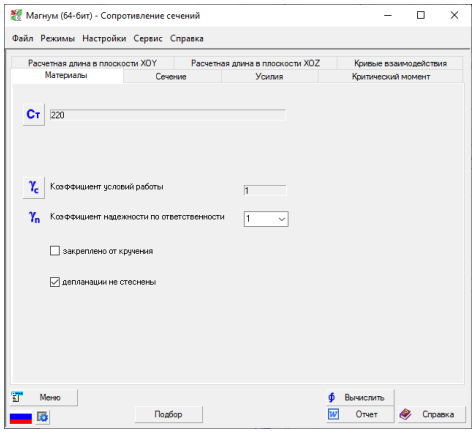


Рис. 6.8.1-1. *Страница* **Материалы** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по СП 260.1325800)

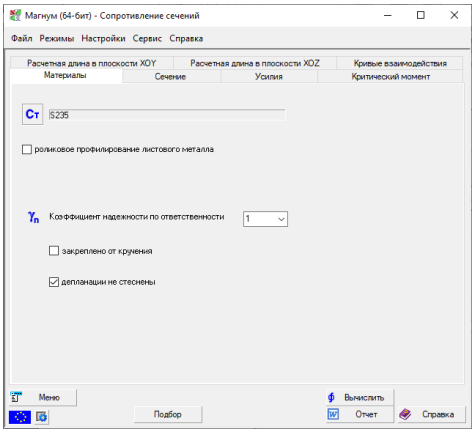


Рис. 6.8.1-2. *Страница* **Материалы** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по EN 1993)

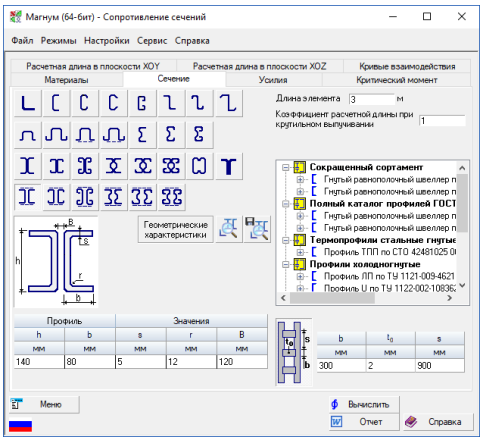


Рис. 6.8.1-3. *Страница* **Сечение** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Страница **Сечение** (рис. 6.8.1-3) содержит набор кнопок, нажатие одной из которых позволяет назначить тип поперечного сечения. В последующем пользователю необходимо либо выбрать конкретный холодногнутый профиль из базы данных сортаментов холодногнутых профилей, либо назначить размеры сечения вручную, введя их значения в соответствующую таблицу. Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

Выбранное сечение может быть сохранено в каталоге **Пользовательские сечения**, доступ к которому осуществляется по нажатии кнопки .

Страница **Усилия** (рис. 6.8.1-4, рис. 6.8.1-5) предназначена для ввода усилий, действующих в поперечном сечении стержневого элемента. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции, а также момента свободного кручения, бимомента и момента стесненного кручения.

На этой странице представлена условная схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции, а также показаны положительные направления усилий. Эта страница содержит таблицу, в которой задаются усилия, действующие в сечении от действия одного или нескольких загружений. Количество строк в таблице соответствует количеству загружений и увеличивается нажатием кнопки **Добавить**. Удаление отмеченных строк выполняется кнопкой **Удалить**.

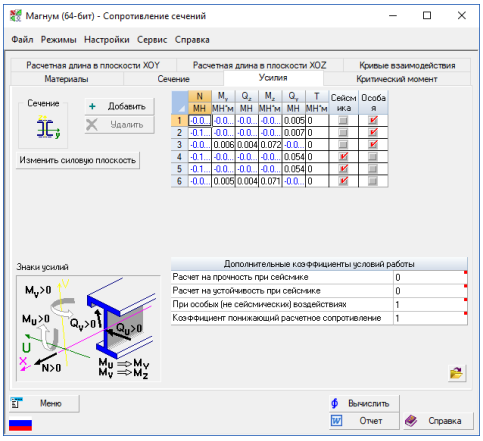


Рис. 6.8.1-4. *Страница* **Усилия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по СП 260.1325800)

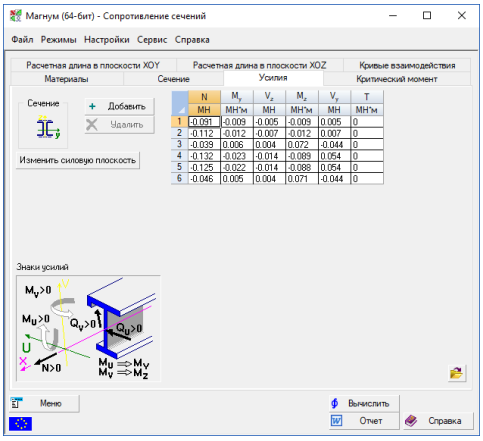


Рис. 6.8.1-5. *Страница* **Усилия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по EN 1993)

При проектировании по СП 260.1325800 отдельные загружения могут быть помечены с помощью маркера **Сейсмика** (рис. 6.8.1-4). В этом случае будут автоматически учтены требования соответствующего (выбранного в главном окне) нормативного документа об использовании дополнительного коэффициента условий работы при строительстве в сейсмических районах. Кроме того, в данном окне появится таблица **Дополнительные коэффициенты условий работы**, в которой можно ввести коэффициенты учета сейсмического воздействия при расчетах на прочность и расчетах на устойчивость. По умолчанию, если

заданы нули, значения принимаются согласно соответствующим сейсмическим нормам. Введя, например, эти два коэффициента равными 0,9 можно учесть требования норм по расчету стальных конструкций, подлежащих эксплуатации в неотапливаемых помещениях или на открытом воздухе при расчетной температуре ниже минус 40 °С.

Если расчет выполняется по СП 260.1325800, то для того или иного загружения можно выставить маркер **Особое** (имеется ввиду особое несейсмическое загружение) (рис. 6.8.1-4). При этом в таблице **Дополнительные коэффициенты условий работы** появляется возможность задать коэффициент условий работы в соответствии с приложением Б к СП 296.1325800 (кроме того, для таких загружений будет использоваться коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1.0$ в соответствии с п. 5.5 СП 296.1325800). Кроме того, может быть учтен дополнительный коэффициент условий работы, понижающий расчетное сопротивление, использование которого оговорено в п. 5.11 и приложении В к СП 296.1325800.

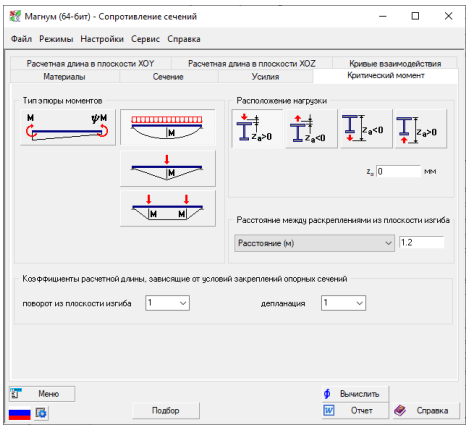


Рис. 6.8.1-6. *Страница* **Критический момент** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по СП 260.1325800)

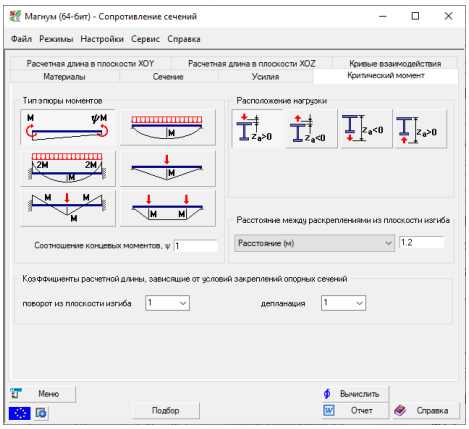


Рис. 6.8.1-7. *Страница* **Критический момент** *диалогового окна* **Сопротивление сечений** (при проектировании по EN 1993)

Таблица внутренних усилий, действующих в рассматриваемом сечении, может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки .

Изменение силовой плоскости выполняется одноименной кнопкой и приводит к переносу значений M_y и Q_z в графы таблицы M_z и Q_y, соответственно, и наоборот.

Страница **Критический момент** (рис. 6.8.1-6, рис. 6.8.1-7) предназначена для ввода исходных данных для вычисления критического изгибающего момента, используемого в дальнейшем в проверке устойчивости плоской формы изгиба. Вычисление критического момента выполняется с использованием аналитического решения, приведенного в ENV 1993-1-1, в зависимости от формы эпюры изгибающего момента, различных условий закреплений концов стержневого элемента, раскрепления от искажения, уровня приложения нагрузки по отношению к центру сдвига сечения, а также в зависимости от асимметрии сечения относительно оси большей жесткости. Кроме того, при вычислении критического момента учитывается кривизна в плане до потери устойчивости в соответствии с [1]. Вычисление критического момента выполняется только для поперечных сечений, симметричных относительно оси меньшей жесткости при их изгибе относительно оси большей жесткости. Кроме того, нормы ограничивают использование этого метода проверки для тех сечений, для которых характерен существенный поворот главных осей инерции «эффективного» сечения по отношению к главным осям инерции поперечного сечения брутто.

Соответствующие ограничения введены и в программе. Так, если пользователем выбрано сечение, не удовлетворяющее требованиям симметрии относительно оси меньшей жесткости при его изгибе относительно оси большей жесткости, то предполагается, что устойчивость плоской формы изгиба рассматриваемого стержневого элемента обеспечена соответствующими раскреплениями.

В группе **Тип эпюры моментов** с помощью кнопок

пользователю предоставлена возможность определить тип эпюры изгибающего момента для стержневого элемента. Поскольку нормы СП 260.1325800 ограничили расчетную методику определения критического момента только четырьмя типами эпюр изгибающих моментов, поэтому при проектировании по СП 260.1325800 в данной группе отображается только четыре соответствующие кнопки.

Если выбран первый вариант эпюры изгибающих моментов, то следует также задать параметр ψ, характеризующий соотношение концевых моментов. В поле **l/L для сжатого пояса** необходимо ввести коэффициент расчетной длины для проверки устойчивости плоской формы изгиба. Кроме того, задается расстояние от точки приложения нагрузок до уровня верхнего пояса z_a. Знак z_a назначается в соответствии с приведенной на странице схемой.

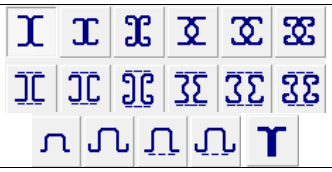
Кроме того для вычисления критического момента следует задать два коэффициента эффективной длины, зависящих от закрепления торцевых сечений: коэффициент k, зависящий от поворота торцевых сечений, и коэффициент k_w, который характеризует ограничение депланаций сечения. Рекомендации по назначению коэффициентов k, k_w для некоторых частных случаев можно найти в книгах:

L. Gardner, *Stability of Steel Beams and Columns: In Accordance with Eurocodes and the UK National Annexes*, Steel Construction Institute, 2011.

N.Boissonnade, R.Greiner, J.P.Jaspart, J.Lindner, *Rules for member stability in EN 1993-1-1 : Background documentation and design guidelines*, ECCS European Convention for Constructional Steelwork, 2006.

Реализация проверки устойчивости плоской формы изгиба зависит от типа поперечного сечения стержневого элемента (см. табл. 6.8.1-2).

Таблица 6.8.1-2. Реализация проверки устойчивости плоской формы изгиба для стержневых элементов с различными типами сечений

Тип поперечного сечения стержневого элемента	Реакция режима **Критический момент** на тип поперечного сечения
	Предполагается, что устойчивость плоской формы изгиба обеспечена соответствующими закреплениями сжатого пояса изгибаемого элемента
	Расчет устойчивости плоской формы изгиба выполняется
	Нормы не содержат рекомендации по вычислению критического момента и соответственно по проверке несущей способности на потерю устойчивости плоской формы изгиба
	Предполагается, что потеря устойчивости плоской формы изгиба не происходит

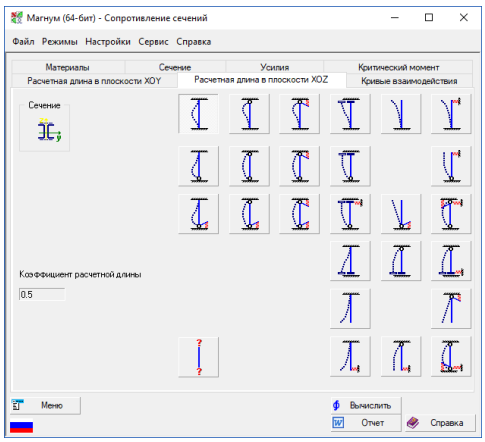


Рис. 6.8.1-8. *Страница* **Расчетная длина в плоскости XOY** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Страницы **Расчетная длина в плоскости XoY (XoZ)** (рис. 6.8.1-8) являются точной копией страницы **Расчетные длины** из режима **Расчетные длины** и предлагают набор возможных вариантов концевых закреплений в соответствующих силовых плоскостях для сжатого стержневого элемента, отличающихся друг от друга комбинациями граничных условий (свободный конец, шарнир, упругое опирание, упругое защемление, полное защемление).

Если выбирается вариант с упругим опиранием или с упругим защемлением, то открывается доступ к таблице для ввода данных о податливости соответствующей связи.

Коэффициенты $k = l / L$ представляют собой отношение расчетной длины l к геометрической длине стержня L в различных плоскостях и отображаются в соответствующих полях **Коэффициент расчетной длины**.

Работа с этим окном подробно описана в разделе 6.7.4. В отличие от режима **Расчетные длины** в этом окне есть кнопка **Коэффициент расчетной длины, задаваемый пользователем** – . При нажатии этой кнопки появляется возможность ввести произвольные значения коэффициента расчетной длины и подтвердить свой выбор нажатием кнопки **Применить**, после чего в поле **Коэффициент расчетной длины** появится значение данного коэффициента, назначенное пользователем. Во всех остальных случаях поле **Коэффициент расчетной длины** не допускает ввода исходных данных.

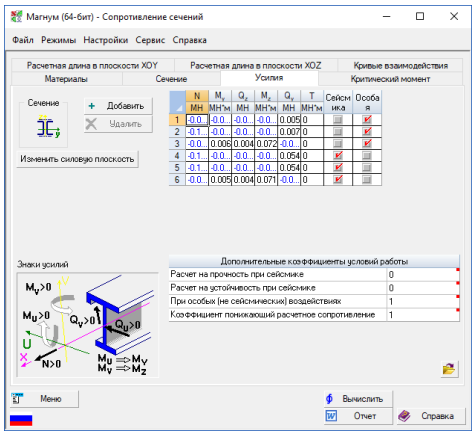


Рис. 6.8.1-9. *Главное окно режима* **Сопротивление сечений** (при проектировании по СП 260.1325800)

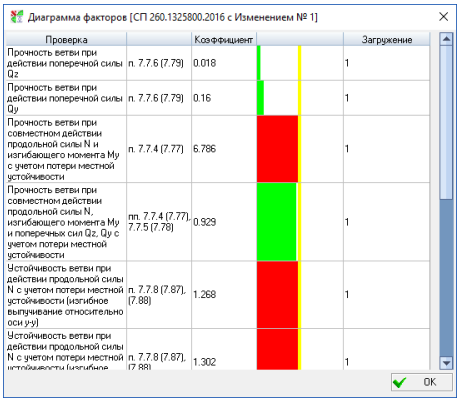


Рис. 6.8.1-10. *Окно* **Диаграмма факторов**

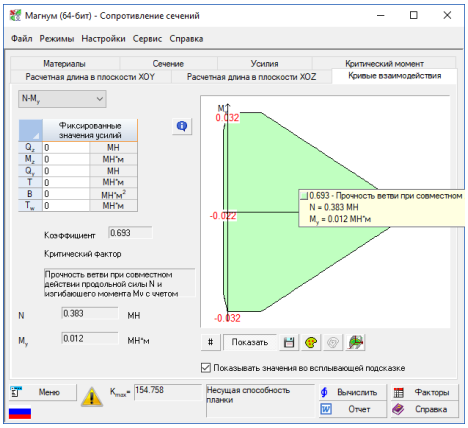


Рис. 6.8.1-11. *Страница* **Кривые взаимодействия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

После ввода исходных данных можно нажать кнопку **Вычислить** и в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, получить максимальное значение коэффициента использования нормативных ограничений, а также тип нормативной проверки (прочность, устойчивость и т.п.), для которого было получено это значение (рис. 6.8.1-9). Кроме того, можно оперативно ознакомиться и со значениями всех других коэффициентов использования нормативных ограничений. Для этого используется кнопка **Факторы**, которая становится доступной после выполнения расчета. В окне **Диаграмма факторов** (рис. 6.8.1-10) в числовой и графической формах представлены значения соответствующих коэффициентов.

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 6.8.1-11) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности сечения при действии в нем различных пар усилий, которые могут возникнуть в рассматриваемом сечении. Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. Выбор пар усилий выполняется в выпадающем списке, а нажатие кнопки приводит к появлению сетки в поле отображения. Кривые окружают начало координат замкнутой линией, внутри которой располагаются точки с условно допустимыми парами рассматриваемых усилий. Напомним, что пара усилий считается допустимой, когда $K_{max} \le 1$. При этом все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений действующих усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях.

Одновременно выводится и максимальное значение коэффициента использования ограничений, соответствующее этим усилиям, и тип проверки, при которой он вычислен. Если курсор располагается в точке со значением $K_{max} > 1$, то появляется предупреждающий сигнал .

Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, соответствующих положению курсора на области построения кривой взаимодействия.

Кроме того, окно содержит три кнопки: , которые позволяют выполнить следующие действия:

— если заданы усилия, то нажатие этой кнопки приведет к отрисовке точек, координаты которых в области несущей способности соответствуют этим усилиям;

— отрисовка выпуклой оболочки указанных выше точек, т.е. всего множества точек, которые могут быть результатом линейной комбинации заданных усилий, в том числе и их неполных значений;

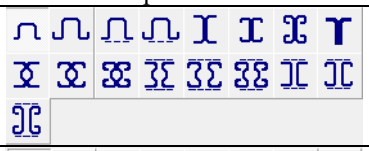
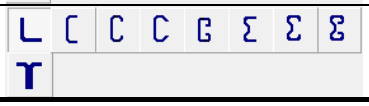
— сохранение в текстовом файле тех усилий, которые приводят к K_{max}=1 (в дальнейшем данный файл можно импортировать в другие программы для дальнейшего анализа).

6.9 Проектирование конструктивных элементов из холодногнутых профилей

6.9.1 Фермы

С помощью этого режима осуществляются все регламентируемые нормами проверки несущей способности стержневых элементов ферм из холодногнутых профилей на прочность и общую устойчивость при изгибном выпучивании. В режиме **Фермы** реализованы конструктивные схемы шарнирно-стержневых систем покрытий, наиболее часто используемые в практике проектирования ЛСТК, с использованием составных или сквозных сечений из U-, С- и Σ-образных холодногнутых профилей, а также корытных профилей и составных сечений из спаренных холодногнутых уголков (см. табл. 6.9.1-1). Расчетные значения внутренних усилий, действующие в стержневых элементах фермы, определяются автоматически в зависимости от заданных пользователем внешних нагрузок. В том случае, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, в режиме также реализована и возможность подбора холодногнутого профиля по сортаменту.

Таблица 6.9.1-1. Типы поперечных сечений ферм из холодногнутых профилей, реализованные в режиме «Фермы»

Назначение стержневого элемента фермы	Тип поперечного сечения
Верхний пояс фермы Нижний пояс фермы	
Опорный стойка / Рядовая стойка Опорный раскос / Рядовой раскос	

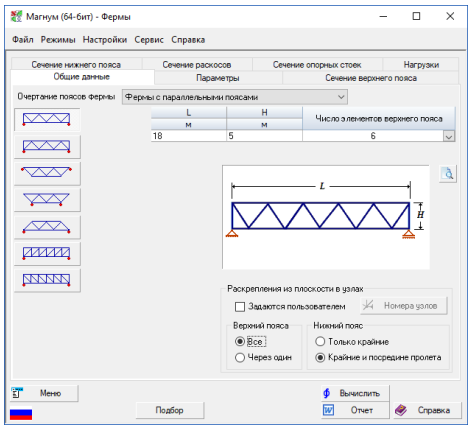


Рис. 6.9.1-1. *Страница* **Общие данные** *режима* **Фермы**

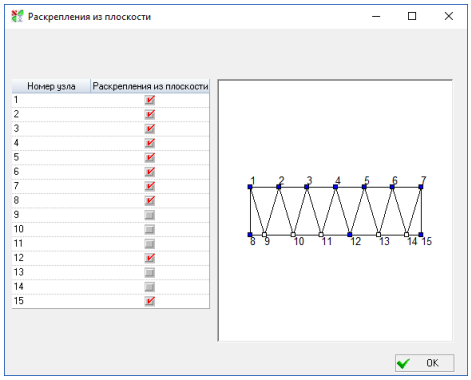


Рис. 6.9.1-2. *Диалоговое окно* **Раскрепление из плоскости** *режима* **Фермы**

Главное окно режима **Фермы** включает следующие страницы: **Общие данные** (рис. 6.9.1-1), **Сечение верхнего пояса** (рис. 6.9.1-3), **Сечение нижнего пояса** (рис. 6.9.1-4), **Сечение стоек, Сечение опорных стоек** (рис. 6.9.1-5), **Сечение раскосов** (рис. 6.9.1-6), **Сечение раскосов**, **Параметры** (рис. 6.9.1-7, рис. 6.9.1-8) и **Нагрузки** (рис. 6.9.1-9).

Страница **Общие данные** (рис. 6.9.1-1) включает выпадающий список для выбора вида фермы по очертанию поясов и группу кнопок для выбора конфигурации фермы. Предусмотрен расчет ферм следующих видов: с параллельными поясами, треугольных, трапецеидальных, с полигональным верхним поясом, односкатных и двухскатных. Все рассматриваемые в данном режиме фермы являются статически определимыми и предполагаются закрепленными в опорных узлах статически определимым способом по балочной схеме.

Для выбранной конфигурации фермы на странице **Общие данные** также задаются параметры геометрической схемы (пролет фермы, высота фермы на опоре, высота фермы в середине пролета и т.д.).

На этой же странице с помощью маркеров указывается вариант раскрепления узлов верхнего и нижнего поясов из плоскости фермы (считается, что в плоскости фермы раскрепление произведено статически определимым образом – шарнирное неподвижное опирание левого опорного узла и шарнирное подвижное опирание правого опорного узла). В случае, если активен маркер **Задаются пользователем,** становится доступной кнопка **Номера узлов**, нажатием которой вызывается диалоговое окно **Раскрепление из плоскости** (рис. 6.9.1-2). В этом окне приведена расчетная схема фермы с пронумерованными узлами и таблица, в которой каждому узлу фермы соответствует маркер. Активное состояние маркера говорит о наличии раскрепления в данном узле. Раскрепленные узлы помечаются на схеме синим цветом. Узлы, помеченные в таблице серым цветом, раскрепляются по умолчанию и их состояние изменить нельзя.

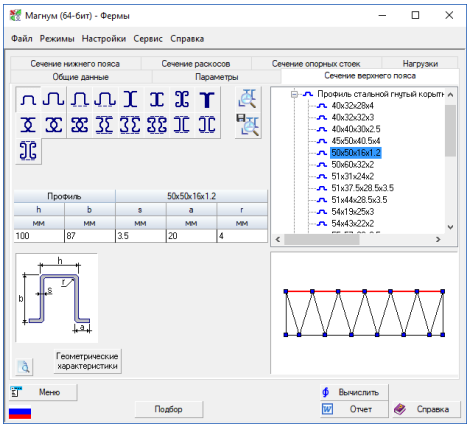


Рис. 6.9.1-3. *Страница* **Сечение верхнего пояса** *режима* **Фермы**

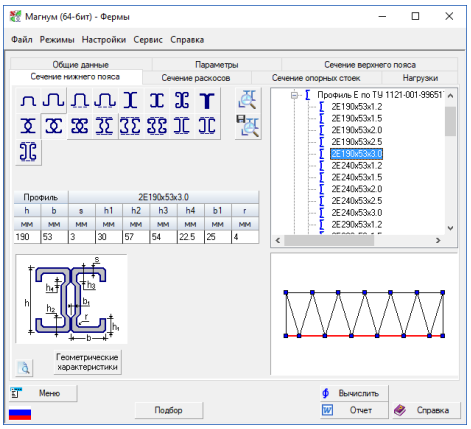


Рис. 6.9.1-4. *Страница* **Сечение нижнего пояса** *режима* **Фермы**

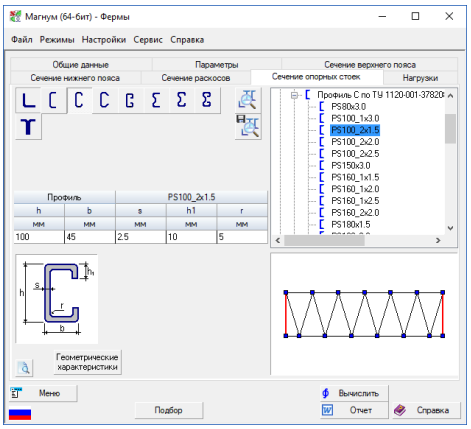


Рис. 6.9.1-5. *Страница* **Сечение опорных стоек** *режима* **Фермы**

На страницах **Сечение верхнего пояса** (рис. 6.9.1-3) и **Сечение нижнего пояса** (рис. 6.9.1-4) назначаются типы и размеры поперечных сечений элементов верхнего и нижнего пояса фермы соответственно. Предполагается, что по длине фермы сечения ее поясов не меняются. Тип поперечного сечения верхнего и нижнего поясов фермы может быть назначен в форме корытного холодногнутого профиля (с отгибами одинарными или двойными, с планками или без). Кроме того, сечение поясов фермы может быть принято составным из парных равнополочных или неравнополочных холодногнутых уголков, располагаемых в форме тавра, а также составным или сквозным из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых).

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной над рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.1-3). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

Для сквозных сечений из холодногнутых профилей, состоящих из отдельных ветвей, совместная работа которых обеспечивается планками, предусмотрены поля ввода для задания параметров планок (рис. 6.9.1-4).

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

На страницах **Сечение опорных стоек** (рис. 6.9.1-5) и **Сечение раскосов** (рис. 6.9.1-6) назначаются типы и размеры поперечных сечений элементов решетки фермы, а именно опорных стоек и раскосов соответственно. Тип поперечного сечения опорных стоек и раскосов фермы может быть назначен пользователем в форме U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых). Кроме того, сечение элементов решетки фермы может быть принято из одиночного равнополочного или неравнополочного холодногнутого уголка или же составным из парных равнополочных или неравнополочных холодногнутых уголков, располагаемых в форме тавра.

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной над рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.1-5, рис. 6.9.1-6). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

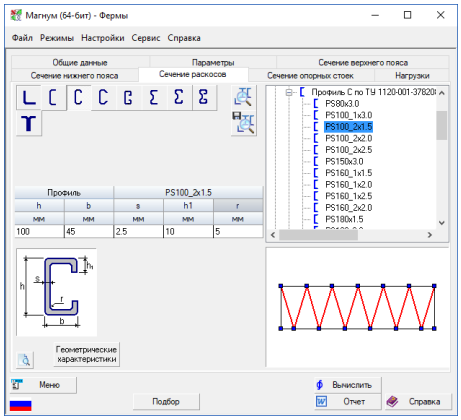


Рис. 6.9.1-6. *Страница* **Сечение раскосов** *режима* **Фермы**

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

На странице **Параметры** (рис. 6.9.1-7, рис. 6.9.1-8) пользователю предоставлена возможность задать сталь для несущих стержневых элементов фермы (при нажатии кнопки Ст, обеспечивающий доступ в информационный режим **Сталь**) и коэффициент условий работы конструкции (при нажатии кнопки γ_c, обеспечивающий доступ в информационный режим **Коэффициент условий работы**). Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1993 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.9.1-8). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки метала для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение не учитывается, соответствующий маркер на странице **Общие параметры** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.9.1-7).

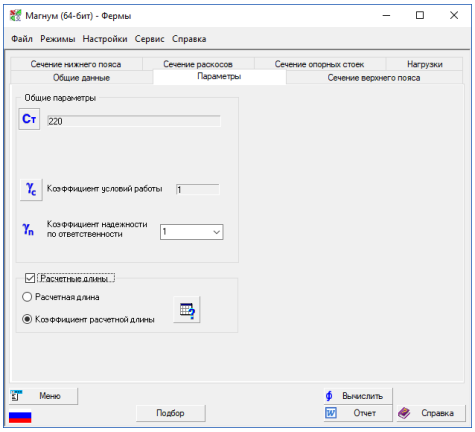


Рис. 6.9.1-7. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Фермы** (при проектировании по СП 260.1325800)

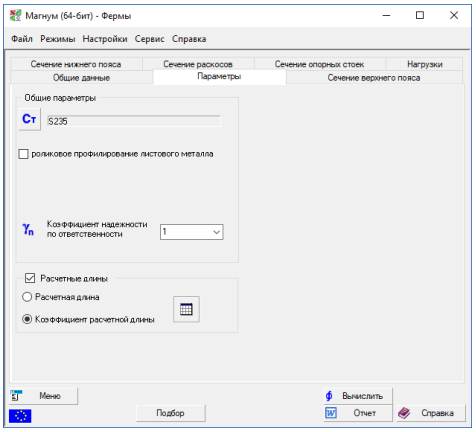


Рис. 6.9.1-8. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Фермы** (при проектировании по EN 1993)

Подробно информационные режимы **Сталь** и **Коэффициенты условий работы** описаны в разделах 6.6.1 и 6.6.3 соответственно.

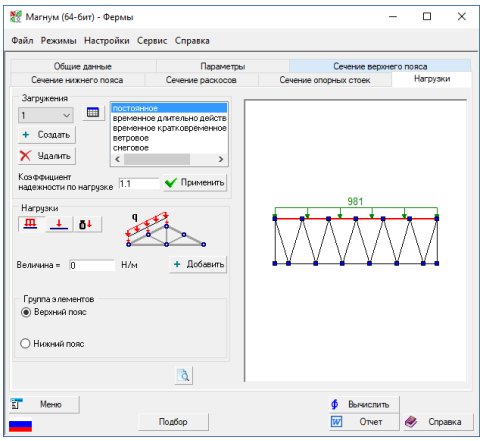


Рис. 6.9.1-9. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Фермы**

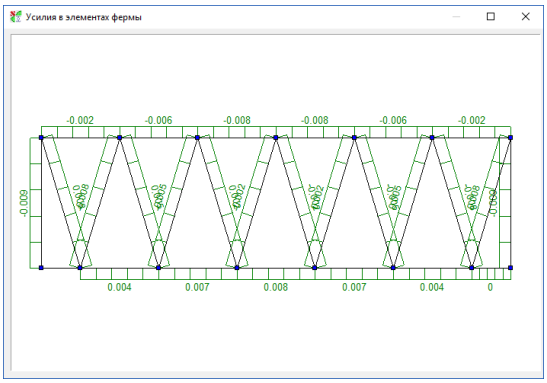


Рис. 6.9.1-10. *Информационное окно* **Усилия в элементах фермы** *режима* **Фермы**

Страница **Нагрузки** (рис. 6.9.1-9) во многом напоминает ту, которая описана в режиме **Огибающие** (см. раздел 4.8.1), однако здесь имеются и свои особенности. Пользователю предоставляется возможность задать равномерно распределенную нагрузку или сосредоточенную нагрузку в узлах верхнего или нижнего пояса фермы. Равномерно распределенная нагрузка задается или на весь пояс (верхний или нижний), или на его половину. При этом, место приложения равномерно распределенной нагрузки определяется соответствующими кнопками выбора в группе **Группа элементов**. Номер узла, где прикладывается сосредоточенная нагрузка, выбирается в выпадающем списке **Номер узла**.

Для графического контроля введенных исходных данных предназначено специальное окно, расположенное на странице **Нагрузки** справа, где отображается условная схема фермы. При нажатии на кнопку выбора пояса, к которому прикладывается равномерно распределенная нагрузка, соответствующий пояс в этом окне выделяется красным цветом, а при выборе номера узла, к которому прикладывается сосредоточенная нагрузка, соответствующий узел выделяется красным цветом.

После нажатия кнопки **Добавить** в окне отображения появляется схема соответствующего нагружения со всеми введенными нагрузками.

Откорректировать значения конкретных нагрузок можно в таблице, которая вызывается кнопкой (см. раздел 4.8.1).

По нажатию кнопки **Усилия в элементах фермы для текущего загружения** открывается одноименное информационное окно, в котором показана расчетная схема фермы с эпюрой внутренних усилий для текущего нагружения (рис. 6.9.1-10).

В программе Магнум (в отличие от SCAD) принято, что на ферму действует узловая нагрузка. Таким образом, заданная пользователем распределенная нагрузка не передается непосредственно на элементы фермы, а считается приложенной к некоторой ограждающей конструкции кровли, которая и выполняет функцию приведения нагрузки к узлам.

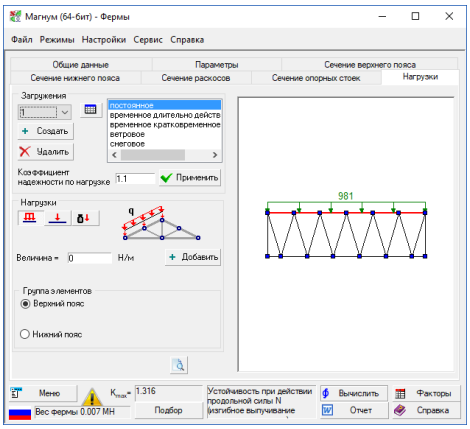


Рис. 6.9.1-11. *Главное окно режима* **Фермы**

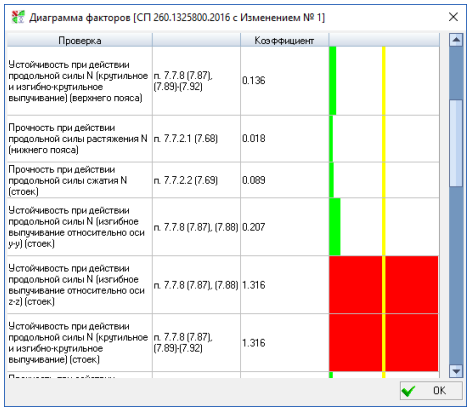


Рис. 6.9.1-12. *Окно* **Диаграмма факторов** *режима* **Фермы**

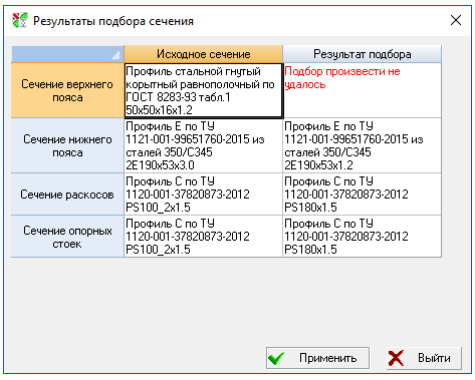


Рис. 6.9.1-13. *Диалоговое окно* **Результаты подбора сечения** *режима* **Фермы**

Нажатие кнопки **Вычислить** в главном окне режима **Фермы** (рис. 6.9.1-11) приводит к появлению значения $\mathbf{K_{max}}$ и указанию типа нормативной проверки (прочность, устойчивость…), при которой этот максимум реализовался. Используя кнопку **Факторы** в окне **Диаграмма факторов** (рис. 6.9.1-12) можно ознакомиться и со значениями всех остальных коэффициентов использования ограничений.

Кнопка **Подбор** в главном окне режима **Фермы** позволяет перейти в режим целенаправленного перебора профилей для элементов фермы с выбором оптимального (по критерию минимума площади сечения) холодногнутого профиля, удовлетворяющего всем требованиям норм.

Перебор по различным группам элементов фермы (верхнему и нижнему поясам, раскосам, опорным стойкам) реализуется независимо.

После завершения подбора на экране появляется окно с результатами подбора поперечных сечений для различных элементов ферм (рис. 6.9.1-13). В том случае, если пользователь воспользуется кнопкой **Применить**, результаты подбора сечений будут экспортированы в исходные данные для выполнения проверочного расчета новой конструкции фермы с новыми сечениями.

Если в процессе подбора было испробовано максимальное сечение из сортамента и при этом значение $K > 1$, то в окне появляется соответствующее сообщение, и кнопка **Применить** блокируется.

При нажатии кнопки **Отчет** формируется документ, в который выводится все исходные данные для выполнения расчета (расчетная схема фермы, типы и размеры сечений ее элементов, схемы и величины нагрузок), а также результаты статического анализа фермы, результаты поиска невыгодных комбинаций нагружений и результаты проверок несущей способности стержневых элементов фермы в соответствии с выбранными пользователем нормами проектирования.

6.9.2 Балки

С помощью этого режима осуществляются все регламентируемые нормами проверки несущей способности балок из холодногнутых профилей на прочность и устойчивость плоской формы изгиба. В режиме **Балки** реализованы конструктивные схемы балок, наиболее часто используемые в практике проектирования ЛСТК, с использованием составных или сквозных сечений из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей. Расчетные значения внутренних усилий (изгибающего момента и поперечной силы), действующие в расчетных сечениях балки, определяются автоматически в зависимости от заданных пользователем внешних нагрузок. В том случае, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, в режиме также реализована и возможность подбора холодногнутого профиля по сортаменту.

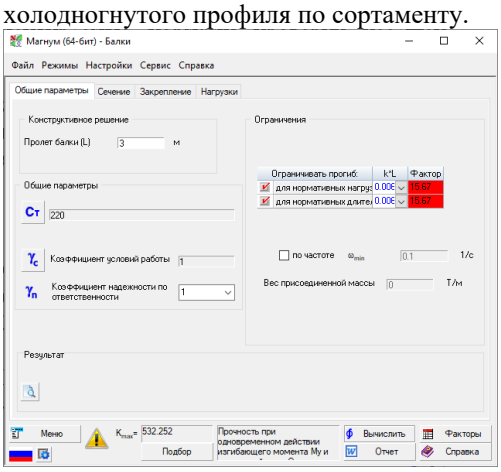


Рис. 6.9.2-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Балки** (при проектировании по СП 260.1325800)

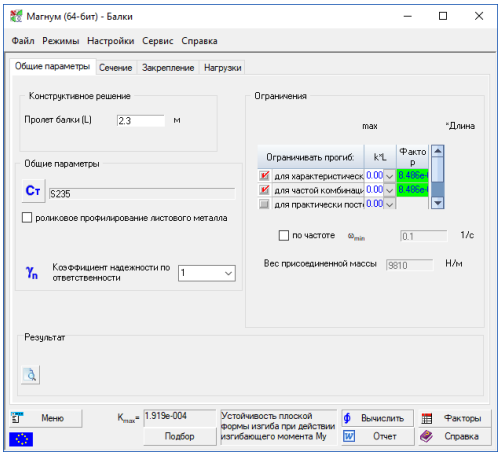


Рис. 6.9.2-2. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Балки** (при проектировании по EN 1993)

Главное окно режима **Балки** включает следующие страницы: **Общие параметры** (рис. 6.9.2-1, рис. 6.9.2-2), **Сечение** (рис. 6.9.2-3), **Закрепление** (рис. 6.9.2-4) и **Нагрузки** (рис. 6.9.2-5).

На странице **Общие параметры** (рис. 6.9.2-1, рис. 6.9.2-2) в группе **Конструктивное решение** задается пролет балки, а в группе **Общие параметры** – пользователю предоставлена возможность задать сталь для балки (при нажатии кнопки Ст, обеспечивающий доступ в информационный режим **Сталь**) и коэффициент условий работы конструкции (при нажатии кнопки γ_c, обеспечивающий доступ в информационный режим **Коэффициент условий работы**). Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1993 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.9.2-2). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки метала для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение не учитывается, соответствующий маркер на странице **Общие параметры** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.9.2-1).

Подробно информационные режимы **Сталь** и **Коэффициенты условий работы** описаны в разделах 6.6.1 и 6.6.3 соответственно.

В группе **Ограничения** могут быть заданы ограничения по абсолютному значению прогиба (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок) или по частоте собственных колебаний. В последнем случае имеется возможность указать значение присоединенной массы, которая будет просуммирована с собственной массой конструкции.

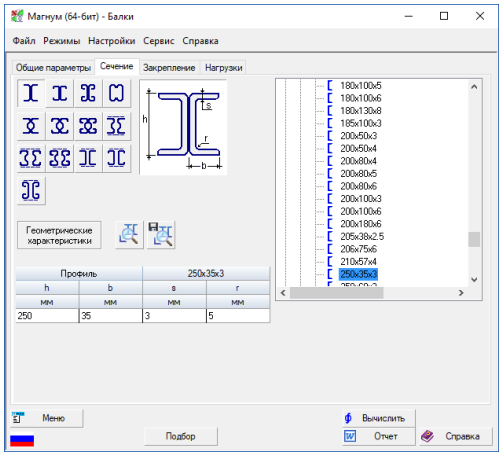


Рис. 6.9.2-3. *Страница* **Сечение** *режима* **Балки**

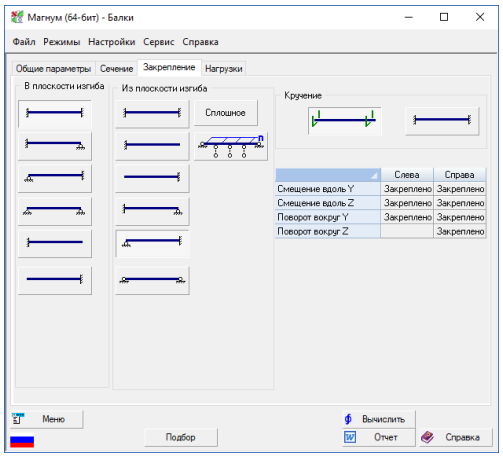


Рис. 6.9.2-4. *Страница* **Закрепления** *режима* **Балки**

Предельно допустимое значение прогиба балки задается в долях от величины пролета (оно будет сопоставлено с относительным прогибом от действия нагрузок с расчетными значениями, соответствующими второй группе предельных состояний). Отметим, что для проверки прогиба в программе **Магнум** не введен специальный фактор – программа только вычисляет и выводит величину максимального прогиба.

На странице **Сечение** (рис. 6.9.2-3) назначается тип и размеры поперечного сечения балки.

Предполагается, что по длине балки ее сечения не меняются. Тип поперечного сечения балки может быть назначен в форме составного или сквозного сечения из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых).

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной под рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.2-3). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

Для сквозных сечений из холодногнутых профилей, состоящих из отдельных ветвей, совместная работа которых обеспечивается планками, предусмотрены поля ввода для задания параметров планок (рис. 6.9.2-3).

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

Страница **Закрепление** (рис. 6.9.2-4) содержит три группы кнопок, с помощью которых указывается система закреплений балки в плоскости изгиба, из плоскости изгиба, а также на кручение. Выбор внутри каждой группы осуществляется независимо нажатием кнопки с соответствующей схемой. Если при задании условий закрепления из плоскости изгиба назначен последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

С помощью таблицы отображения выбранной системы связей осуществляется контроль введенных исходных данных.

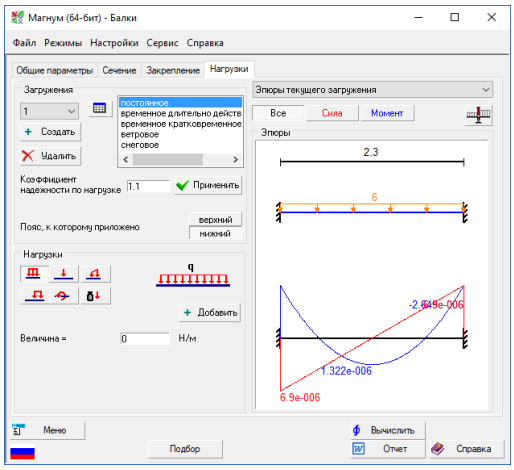


Рис. 6.9.2-5. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Балки**

На странице **Нагрузки** (рис. 6.9.2-5) задаются нагрузки, действующие на балку. Эта страница повторяет аналогичную страницу из раздела 4.8.1, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте (верхний или нижний пояс), которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения.

В режиме «Балки» проверка прогиба реализована только для балок, подверженных действию одного загружения. Отметим, что принцип суперпозиции, согласно которому прогибы, обусловленные различными статическими воздействиями, можно суммировать при комбинировании воздействий, не применим для задачи определения напряженно-деформированного состояния тонкостенного стержня из холодногнутого профиля, которая является нелинейной вследствие учета его закритической работы.

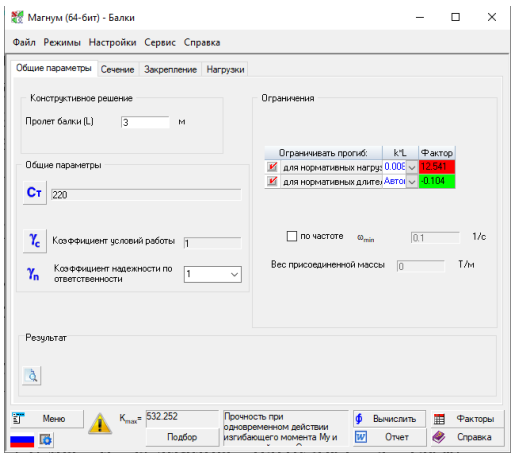


Рис. 6.9.2-6. *Главное окно режима* **Балки**

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя — только для балок из холодногнутых профилей по сортаменту) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить перебор профилей для балки с выбором оптимального (по критерию минимума площади сечения) холодногнутого профиля, удовлетворяющего всем требованиям норм. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.1.

Необходимо отметить, что подбор сечений будет выполняться только из условий обеспечения прочности и устойчивости плоской формы изгиба.

При нажатии кнопки **Отчет** (рис. 6.9.2-6) формируется документ, в который выводятся все исходные данные для выполнения расчета (расчетная схема балки, тип и размеры поперечного сечения балки с геометрическими характеристиками, схемы и величины нагрузок), а также результаты статического анализа балки с построением огибающих эпюр и результаты проверок несущей способности балки в соответствии с выбранными пользователем нормами проектирования.

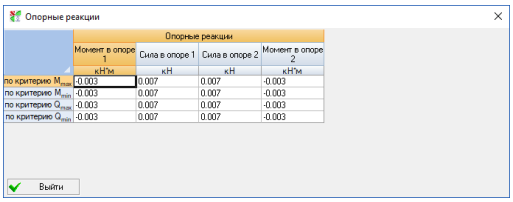


Рис. 6.9.2-7. *Диалоговое окно* **Опорные реакции**

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 6.9.2-7), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

6.9.3 Неразрезные балки

С помощью этого режима осуществляются все регламентируемые нормами проверки несущей способности неразрезных балок из холодногнутых профилей на прочность и устойчивость плоской формы изгиба. В режиме **Неразрезные балки** реализованы конструктивные схемы неразрезных балок, наиболее часто используемые в практике проектирования ЛСТК, с использованием составных или сквозных сечений из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей. Расчетные значения внутренних усилий (изгибающего момента и поперечной силы), действующие в расчетных сечениях неразрезной балки, определяются автоматически в зависимости от заданных пользователем внешних нагрузок. В том случае, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, в режиме также реализована и возможность подбора холодногнутого профиля по сортаменту.

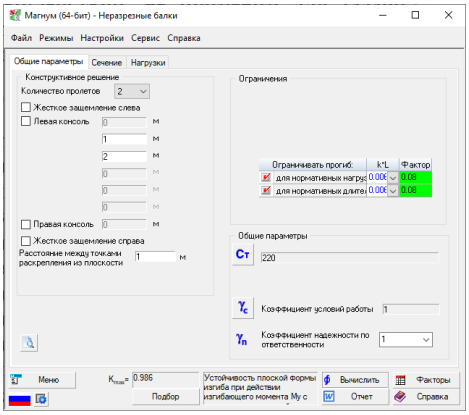


Рис. 6.9.3-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Неразрезные балки** (при проектировании по СП 260.1325800)

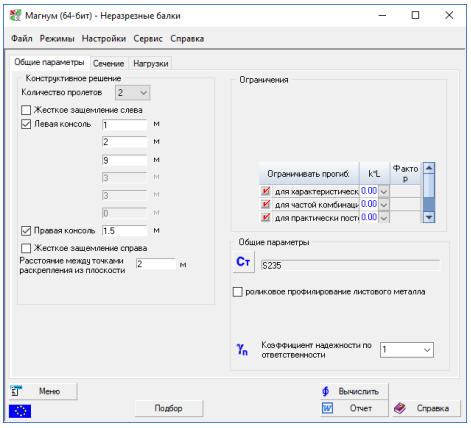


Рис. 6.9.3-2. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Неразрезные балки** (при проектировании по EN 1993)

Главное окно режима **Неразрезные балки** включает следующие страницы: **Общие параметры** (рис. 6.9.3-1, рис. 6.9.3-2), **Сечение** (рис. 6.9.3-3) и **Нагрузки** (рис. 6.9.3-4).

На странице **Общие параметры** (рис. 6.9.3-1, рис. 6.9.3-2) в группе **Конструктивное решение** задается схема многопролетной балки, которая определяется количеством пролетов, их величинами и наличием или отсутствием консолей.

Для моделирования жесткого защемления неразрезной балки по ее концам используются одноименные маркеры **Жесткое защемление слева** и **Жесткое защемление справа**. При этом если задать жесткое защемление (справа и/или слева), то пропадает возможность задания соответствующей консоли.

В этой же группе имеется поле для задания шага раскрепления сжатого пояса неразрезной балки из плоскости изгиба. Этот шаг предполагается постоянным по всей длине неразрезной балки и, кроме того, предполагается, что такие закрепления имеются на всех опорах.

В группе **Общие параметры** на этой же странице пользователю предоставлена возможность задать сталь для неразрезной балки (при нажатии кнопки Ст, обеспечивающий доступ в информационный режим **Сталь**) и коэффициент условий работы конструкции (при нажатии кнопки γ_c, обеспечивающий доступ в информационный режим **Коэффициент условий работы**). Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1993 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.9.3-2). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки метала для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение

не учитывается, соответствующий маркер на странице **Общие параметры** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.9.3-1).

Подробно информационные режимы **Сталь** и **Коэффициенты условий работы** описаны в разделах 6.6.1 и 6.6.3 соответственно.

В группе **Ограничения** на странице **Общие параметры** (рис. 6.9.3-1, рис. 6.9.3-2) могут быть заданы ограничения на значение относительного прогиба (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок). Предельно допустимое значение прогиба неразрезной балки задается в долях от длины пролета. Оно будет сопоставлено с фактическим прогибом балки от действия нагрузок, взятыми с расчетными значениями, соответствующими второй группе предельных состояний. Отметим, что для проверки прогиба в программе **Магнум** не введен специальный фактор – программа только вычисляет и выводит величину максимального прогиба.

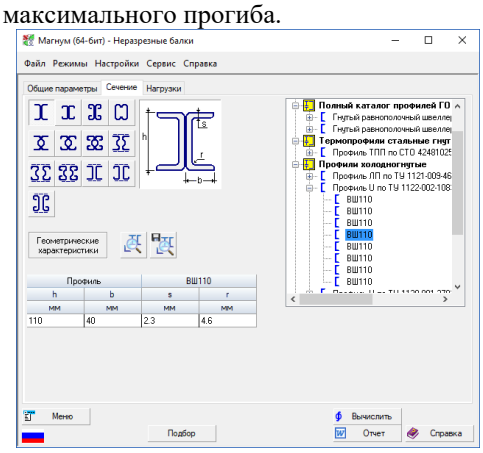


Рис. 6.9.3-3. *Страница* **Сечение** *режима* **Неразрезные балки**

На странице **Сечение** (рис. 6.9.3-3) назначается тип и размеры поперечного сечения неразрезной балки.

Предполагается, что по длине неразрезной балки ее сечения не меняются. Тип поперечного сечения балки может быть назначен в форме составного или сквозного сечения из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых).

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной под рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.3-3). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

Для сквозных сечений из холодногнутых профилей, состоящих из отдельных ветвей, совместная работа которых обеспечивается планками, предусмотрены поля ввода для задания параметров планок (рис. 6.9.3-3).

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

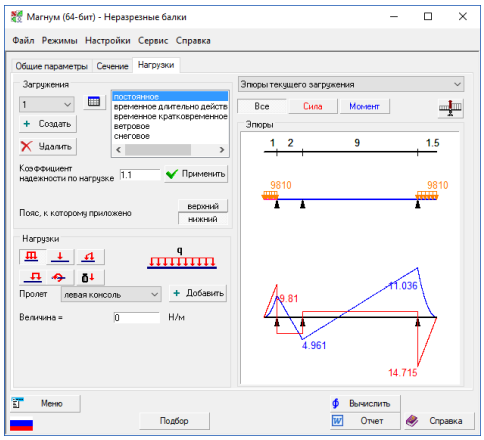


Рис. 6.9.3-4. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Неразрезные балки**

На странице **Нагрузки** (рис. 6.9.3-4) задаются нагрузки, действующие на неразрезную балку.

Эта страница повторяет аналогичную страницу из разделов 4.8.1 и 4.10.3, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте (верхний или нижний пояс), которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения. Кроме того, нагрузки задаются попролетно. Номер пролета (консоли), на котором действует задаваемая нагрузка, выбирается из выпадающего списка **Пролет**. Привязки сосредоточенных сил задаются от левого края пролета.

В режиме «Неразрезные балки» проверка прогиба реализована только для неразрезных балок, подверженных действию одного загружения. Отметим, что принцип суперпозиции, согласно которому прогибы, обусловленные различными статическими воздействиями, можно суммировать при комбинировании воздействий, не применим для задачи определения напряженно-деформированного состояния тонкостенного стержня из холодногнутого профиля, которая является нелинейной вследствие учета его закритической работы.

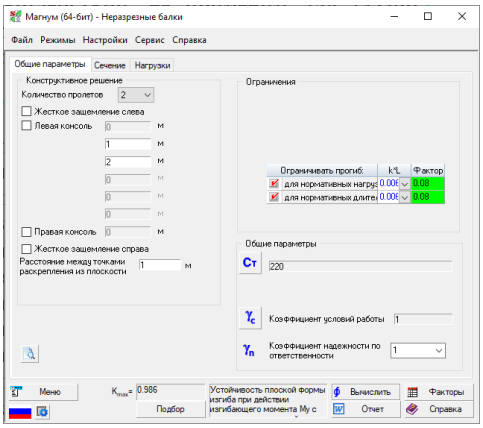


Рис. 6.9.3-5. *Главное окно режима* **Неразрезные балки**

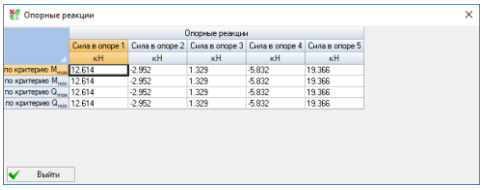


Рис. 6.9.3-6. *Диалоговое окно* **Опорные реакции** *режима* **Неразрезные балки**

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя — только для неразрезных балок из холодногнутых профилей по сортаменту) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить перебор профилей для неразрезной балки с выбором оптимального (по критерию минимума площади сечения) холодногнутого профиля, удовлетворяющего всем требованиям норм. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.1.

Необходимо отметить, что подбор сечений для неразрезной балки будет выполняться только из условий обеспечения прочности и устойчивости плоской формы изгиба.

При нажатии кнопки **Отчет** (рис. 6.9.3-5) формируется документ, в который выводится все исходные данные для выполнения расчета (расчетная схема неразрезной балки, тип и размеры поперечного сечения неразрезной балки с геометрическими характеристиками, схемы и величины нагрузок), а также результаты статического анализа неразрезной балки с построением огибающих эпюр и результаты проверок несущей способности неразрезной балки в соответствии с выбранными пользователем нормами проектирования.

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 6.9.3-6), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

6.9.4 Стойки

В режиме **Стойки** выполняется проверка несущей способности конструкций стоек и колонн составного и сквозного сечений из U-, С- и Σ-образных холодногнутых профилей. Реализован весь комплекс проверок по прочности и общей устойчивости в соответствии с требованиями норм. При этом предполагается, что реализуется плоская схема нагружения стойки, а в ее сечениях действуют продольная сила, изгибающий момент и поперечная сила.

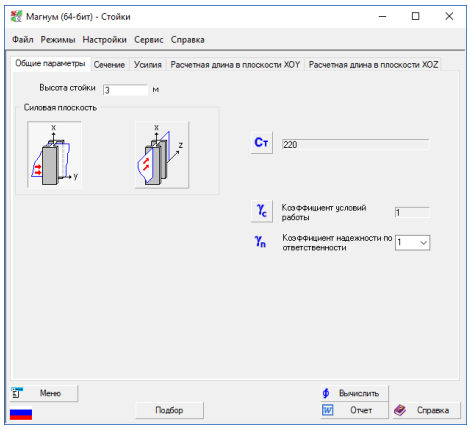


Рис. 6.9.4-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Стойки** (при проектировании по СП 260.1325800)

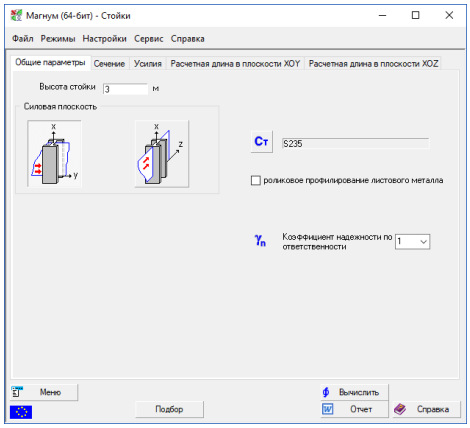


Рис. 6.9.4-2. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Стойки** (при проектировании по EN 1993)

Диалоговое окно режима **Стойки** включает следующие страницы: **Общие параметры** (рис. 6.9.4-1, 6.9.4-2), **Сечение** (рис. 6.9.4-3), **Усилия** (рис. 6.9.4-4), **Расчетная длина в плоскости XoY** (рис. 6.9.4-6), **Расчетная длина в плоскости XoZ**.

Страница **Общие параметры** (рис. 6.9.4-1, 6.9.4-2) содержит поле ввода высоты стойки и две кнопки для выбора силовой плоскости (ориентации плоскости деформирования). Для рамных систем выбор силовой плоскости определяется тем, как стойка “вмонтирована” в плоскую рамную конструкцию.

На этой же странице пользователю предоставлена возможность задать сталь для стойки (при нажатии кнопки Ст, обеспечивающий доступ в информационный режим **Сталь**) и коэффициент условий работы конструкции (при нажатии кнопки γ_c, обеспечивающий доступ в информационный режим **Коэффициент условий работы**). Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1993 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.9.4-2). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки метала для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение не учитывается, соответствующий маркер на странице **Общие параметры** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.9.4-1).

Подробно информационные режимы **Сталь** и **Коэффициенты условий работы** описаны в разделах 6.6.1 и 6.6.3 соответственно.

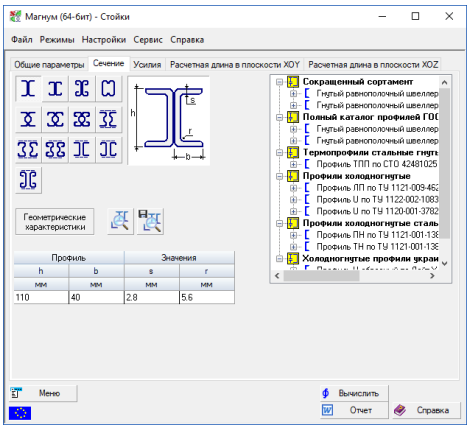


Рис. 6.9.4-3. *Страница* **Сечение** *режима* **Стойки**

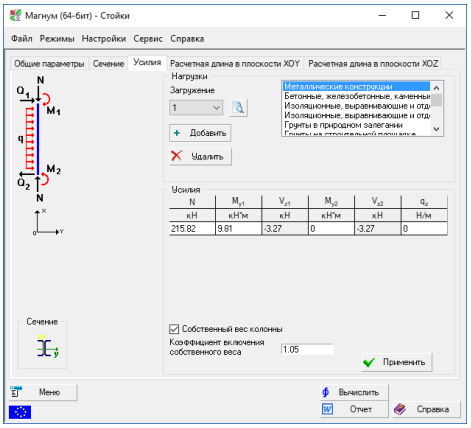


Рис. 6.9.4-4. *Страница* **Усилия** *режима* **Стойки**

На странице **Сечение** (рис. 6.9.4-3) назначается тип и размеры поперечного сечения колонны из холодногнутых профилей. Тип поперечного сечения колонны может быть назначен в форме составного или сквозного сечения из U-, C- и Σ-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых).

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной под рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.4-3). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

Для сквозных сечений из холодногнутых профилей, состоящих из отдельных ветвей, совместная работа которых обеспечивается планками, предусмотрены поля ввода для задания параметров планок.

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

На странице **Усилия** (рис. 6.9.4-4) задаются усилия (продольная сила, изгибающий момент и поперечная сила), действующие по концам стойки, а также поперечная равномерно распределенная нагрузка. Правило знаков для задаваемых внутренних усилий представлено на этой странице на рисунке слева. Обратите внимание, что в этом режиме положительная продольная сила соответствует сжатию.

Для каждого загружения все действующие усилия и поперечная нагрузка задаются одновременно. Для этих сил и моментов должны выполняться общие условия равновесия. В частности, поперечные силы Q_1 и Q_2, а также узловые моменты M_1 и M_2 необходимо принимать по результатам расчета системы в целом. Условия равновесия имеют вид:

$$Q_1 - Q_2 + qL = 0,$$
$$M_2 - M_1 - Q_1 L - qL^2/2 = 0.$$

Нажатие кнопки **Применить** активизирует режим вычисления недостающих силовых факторов, исходя из условий равновесия.

Маркер **Собственный вес колонны** служит для автоматического представления собственного веса колонны в качестве равномерно распределенной нагрузки, ориентированной и приложенной вдоль стержня колонны. В поле **Коэффициент включения собственного веса** пользователю предоставлена возможность назначить коэффициент надежности по данной нагрузке.

По нажатию кнопки появляется диалоговое окно **Предварительный просмотр** (рис. 6.9.4-5) с эпюрами внутренних усилий N, M_y и Q_z.

Необходимо напомнить, что все нагрузки действуют в плоскости XoY или в плоскости XoZ (ось X ориентирована вдоль оси стержня). Выбор силовой плоскости выполняется на странице **Общие параметры**.

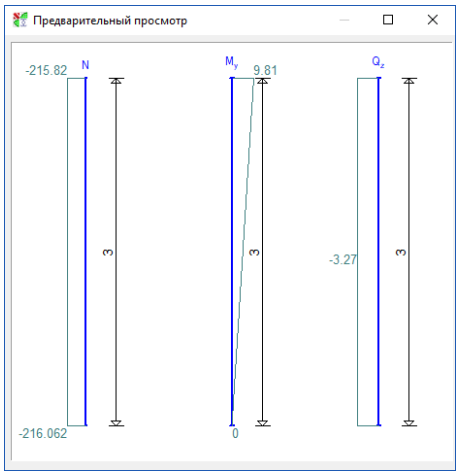


Рис. 6.9.4-5. *Диалоговое окно* **Предварительный просмотр** *режима* **Стойки**

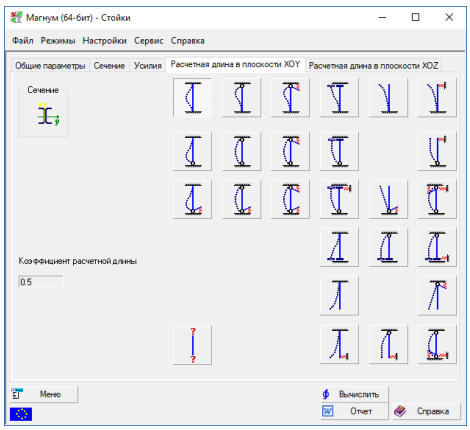


Рис. 6.9.4-6. *Страница* **Расчетная длина в плоскости XOY** *режима* **Стойки**

Страницы **Расчетная длина в плоскости XoY (XoZ)** (рис. 6.9.4-6) являются точной копией страницы **Расчетные длины** из режима **Расчетные длины** и предлагают набор возможных вариантов концевых закреплений в соответствующих силовых плоскостях для сжатого стержневого элемента, отличающихся друг от друга комбинациями граничных условий (свободный конец, шарнир, упругое опирание, упругое защемление, полное защемление).

Если выбирается вариант с упругим опиранием или с упругим защемлением, то открывается доступ к таблице для ввода данных о податливости соответствующей связи.

Коэффициенты $k = l/L$ представляют собой отношение расчетной длины l к геометрической длине стержня L в различных плоскостях и отображаются в соответствующих полях **Коэффициент расчетной длины**.

Работа с этим окном подробно описана в разделе 6.7.4. В отличие от режима **Расчетные длины** в этом окне есть кнопка **Коэффициент расчетной длины, задаваемый пользователем –** . При нажатии этой кнопки появляется возможность ввести произвольные значения коэффициента расчетной длины и подтвердить свой выбор нажатием кнопки **Применить**, после чего в поле **Коэффициент расчетной длины** появится значение данного коэффициента, назначенное пользователем. Во всех остальных случаях поле **Коэффициент расчетной длины** не допускает ввода исходных данных.

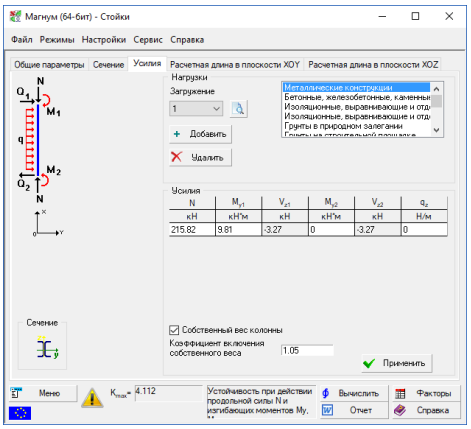


Рис. 6.9.4-7. *Главное окно режима* **Стойки**

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя – только для стоек из холодногнутых профилей по сортаменту) в главном окне режима **Стойки** (рис. 6.9.4-7) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить целенаправленный перебор профилей для стойки с выбором оптимального (по критерию минимума площади сечения) холодногнутого профиля, удовлетворяющего всем требованиям норм. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.1.

При нажатии кнопки **Отчет** (рис. 6.9.4-7) формируется документ, в который выводится все исходные данные для выполнения расчета (расчетная схема стойки, тип и размеры поперечного сечения стойки с геометрическими характеристиками, значения усилия и величины нагрузок), а также результаты статического анализа стойки с построением огибающих эпюр и результаты проверок несущей способности стойки в соответствии с выбранными пользователем нормами проектирования.

6.9.5 Неразрезные прогоны

С помощью этого режима осуществляются все регламентируемые нормами проверки несущей способности прогонов из холодногнутых профилей на прочность, общую устойчивость и деформативность. Режим ориентирован на рассмотрение многопролетных балок из холодногнутых профилей, работающих в качестве прогонов покрытия (в том числе, как элементы горизонтальных ветровых ферм) в условиях косого изгиба при наличии продольной силы.

В режиме **Неразрезные прогоны** реализованы конструктивные схемы прогонов, наиболее часто используемые в практике проектирования ЛСТК, а именно С- и Z-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгибами на полках или без таковых). Расчетные значения внутренних усилий (продольная сила N, изгибающих моментов M_y, M_z и поперечных сил Q_z и Q_y), действующие в расчетных сечениях прогона, определяются автоматически в зависимости от заданных пользователем внешних нагрузок. В том случае, когда сечение несущего элемента выбрано пользователем по некоторому сортаменту холодногнутых профилей, в режиме также реализована и возможность подбора профиля по сортаменту.

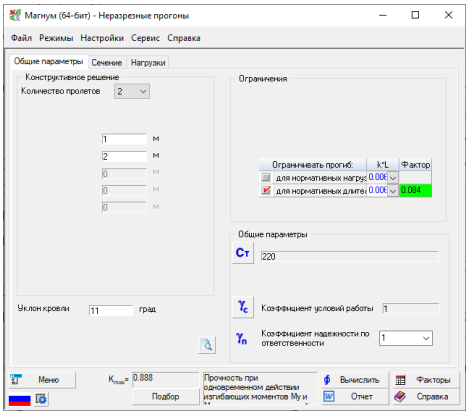


Рис. 6.9.5-1. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Неразрезные прогоны** (при проектировании по СП 260.1325800)

Главное окно режима **Неразрезные прогоны** включает следующие страницы: **Общие параметры** (рис. 6.9.5-1, рис. 6.9.5-2), **Сечение** (рис. 6.9.5-3) и **Нагрузки** (рис. 6.9.5-4).

На странице **Общие параметры** (рис. 6.9.5-1, рис. 6.9.5-2) в группе **Конструктивное решение** задается расчетная схема неразрезного прогона, которая определяется количеством пролетов и их величинами.

При разработке этого режима предполагалось, что прогон раскреплен от потери устойчивости плоской формы изгиба с помощью настила покрытия, который «непрерывно опирается на верхний пояс прогона и надежно с ним связанный». Беря во внимание, что жесткие распорки между прогонами, как правило, не устанавливают, расчетная схема прогона из плоскости изгиба принимается такой же, как и в плоскости изгиба.

В поле **Уклон** пользователю предоставлена возможность задать уклон кровли, по верху которой монтируются рассматриваемые неразрезные прогоны покрытия.

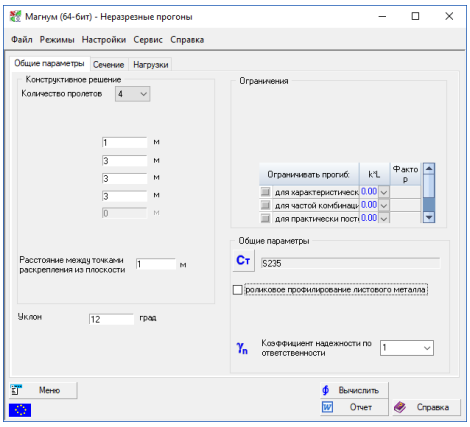


Рис. 6.9.5-2. *Страница* **Общие параметры** *режима* **Неразрезные прогоны** (при проектировании по EN 1993)

В группе **Общие параметры** на этой же странице пользователю предоставлена возможность задать для неразрезного прогона сталь (при нажатии кнопки , обеспечивающий доступ в информационный режим **Сталь**) и коэффициент условий работы конструкции (при нажатии кнопки , обеспечивающий доступ в информационный режим **Коэффициент условий работы**). Выбранные в информационных режимах параметры записываются в соответствующие поля и могут быть изменены только повторным обращением к указанным режимам. В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователь может выбрать или ввести значение коэффициента надежности в зависимости от назначения конструкции.

При проектировании по EN 1993 элементы интерфейса **Коэффициент условий работы** отсутствуют (рис. 6.9.5-2). Маркер **Роликовое профилирование листового метала** служит для назначения пользователем метода холодной формовки металла для создания профиля, который в последующем учитывается в расчете повышением предела текучести стали вследствие локального упрочнения в зонах гиба. Поскольку в нормах СП 260.1325800 данное упрочнение не учитывается, соответствующий маркер на странице **Общие параметры** при проектировании по СП 260.1325800 отсутствует (рис. 6.9.5-1).

Подробно информационные режимы **Сталь** и **Коэффициенты условий работы** описаны в разделах 6.6.1 и 6.6.3 соответственно.

В группе **Ограничения** на странице **Общие параметры** (рис. 6.9.5-1, рис. 6.9.5-2) могут быть заданы ограничения, накладываемые на относительное значения прогиба (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок). Предельно допустимое значение прогиба неразрезного прогона задается в долях от длины пролета. Оно будет сопоставлено с фактическим вертикальным прогибом неразрезного прогона от действия нагрузок, взятыми с расчетными значениями, соответствующими второй группе предельных состояний. Отметим, что для проверки прогиба в программе **Магнум** не введен специальный фактор – программа только вычисляет и выводит величину максимального прогиба.

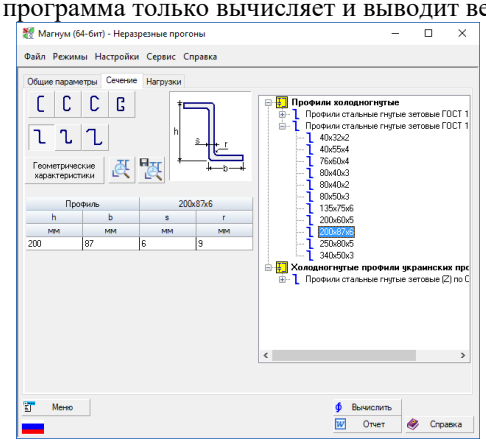


Рис. 6.9.5-3. *Страница* **Сечение** *режима* **Неразрезные прогоны**

На странице **Сечение** (рис. 6.9.5-3) назначается тип и размеры поперечного сечения неразрезного прогона.

Предполагается, что по длине неразрезного прогона его сечение не меняется. Тип поперечного сечения прогона может быть назначен из С- и Z-образных холодногнутых профилей (с одинарными или двойными отгиба либо без таковых).

При выборе пользователем из базы сортаментов некоторого холодногнутого профиля в таблице, расположенной под рисунком сечения, будут отображены все размеры сечения профиля (рис. 6.9.5-3). Пользователь может откорректировать все или некоторые размеры сечения профиля.

Подробно процедура выбора и назначения поперечного сечения из холодногнутых профилей описана в разделе 6.3.

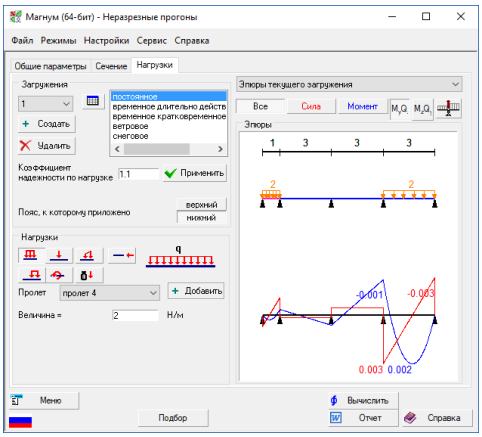


Рис. 6.9.5-4. *Страница* **Нагрузки** *режима* **Неразрезные прогоны**

На странице **Нагрузки** (рис. 6.9.5-4) задаются нагрузки, действующие на неразрезной прогон.

Эта страница повторяет аналогичную страницу из разделов 4.8.1 и 4.10.3, и правила работы с ней аналогичны описанным выше. Отличие состоит в том, что для рассматриваемых нагрузок указывается место их приложения по высоте (верхний или нижний пояс), которое считается одинаковым для всех компонентов текущего загружения. Кроме того, нагрузки задаются попролетно. Номер пролета, на котором действует задаваемая нагрузка, выбирается из выпадающего списка **Пролет**. Привязки сосредоточенных сил задаются от левого края рассматриваемого пролета.

В том случае, когда прогон используется как жесткая распорка и участвует в составе ветровой фермы, в сечении прогона может возникать продольное усилие. Для этого случая предусмотрена соответствующая нагрузка на прогон в виде сосредоточенной продольной силы, прикладываемой по торцам опорных сечений прогона.

В окне справа отображается эпюра изгибающих моментов и поперечных сил для текущего загружения. При нажатии кнопки отображаются эпюры момента M_y и поперечной силы Q_z, а при нажатии кнопки – эпюры момента M_z и поперечной силы Q_y.

В режиме «Неразрезные прогоны» проверка прогиба реализована только для неразрехных прогонов, подверженных действию одного загружения. Отметим, что принцип суперпозиции, согласно которому прогибы, обусловленные различными статическими воздействиями, можно суммировать при комбинировании воздействий, не применим для задачи определения напряженно-деформированного состояния тонкостенного стержня из холодногнутого профиля, которая является нелинейной вследствие учета его закритической работы.

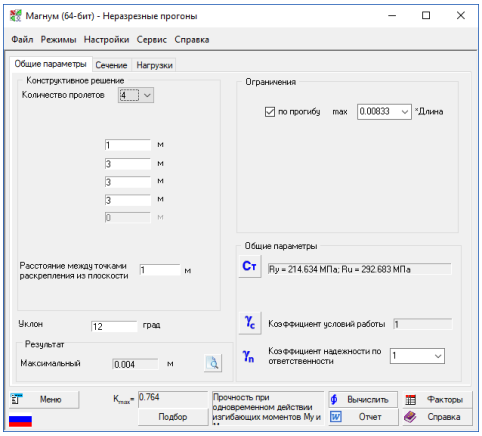


Рис. 6.9.5-5. *Главное окно режима* **Неразрезные прогоны**

Кнопки **Факторы** и **Подбор** (последняя – только для неразрезных прогонов из холодногнутых профилей по сортаменту) позволяют проанализировать результаты расчета или выполнить целенаправленный перебор профилей для неразрезного прогона с выбором оптимального (по критерию минимума площади сечения) холодногнутого профиля, удовлетворяющего всем требованиям норм. Работа в этих режимах описана в разделе 4.10.1 (рис. 6.9.5-5).

Необходимо отметить, что подбор сечений для неразрезного прогона будет выполняться как из условий обеспечения прочности и общей устойчивости прогона, так и из условия обеспечения необходимой жесткости.

При нажатии кнопки **Отчет** (рис. 6.9.5-5) формируется документ, в который выводится все исходные данные для выполнения расчета (расчетная схема неразрезного прогона, тип и размеры его поперечного сечения с геометрическими

характеристиками, схемы и величины нагрузок), а также результаты статического анализа неразрезного прогона с построением огибающих эпюр и результаты проверок его несущей способности в соответствии с выбранными пользователем нормами проектирования.

Кроме того, в отчетный документ выводится таблица с расчетными сочетаниями опорных реакций. При работе с программой значения опорных реакций, полученные для наиболее невыгодных комбинаций нагружений неразрезного прогона, выводятся в диалоговом окне **Опорные реакции** (рис. 6.9.5-6), которое вызывается нажатием одноименной кнопки на странице **Нагрузки**.

Рис. 6.9.5-6. *Диалоговое окно* **Опорные реакции** *режима* **Неразрезные прогоны**

6.10 Литература

[1] Гарднер Л., Нетеркот Д. А. Руководство для проектировщиков к Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-8: пер. с англ. / М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «МГСУ»; науч. ред. пер. А. И. Данилов. – М.: МГСУ, 2012. – 224 с.

7. Программа АРБАТ

Программа **АРБАТ** предназначена для проверки несущей способности или подбора арматуры в элементах бетонных и железобетонных конструкций, для вычисления прогибов в железобетонных балках, для проверки местной прочности элементов железобетонных конструкций (включая закладные детали) согласно требованиям одного из следующих нормативных документов:

- СНиП 2.03.01-84*;
- СНиП 2.03.01-84* с учетом изменений на территории Украины;
- КМК 2.03.01-96;
- СНиП 52-01-2003 (СП 52-101-2003);
- СП 63.13330;
- ДБН В.2.6-98:2009;
- STR 2.05.05:2005.

Расчет выполняется с учетом предельных состояний первой и второй группы (прочность и трещиностойкость) для расчетных сочетаний усилий (РСУ), выбираемых автоматически в зависимости от заданных расчетных нагрузок в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия и СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции (СНиП 52-01-2003), КМК 2.03.01-96. Если в качестве норм проектирования выбран СП 63.13330, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.

Во всех режимах задаются расчетные значения нагрузок (усилий). При анализе второго предельного состояния применяются нормативные значения нагрузок. При переходе от расчетных значений к нормативным для каждого загружения используются коэффициенты надежности по нагрузке, задаваемые пользователем.

Подбор арматуры и проверка выполняются для балок, колонн и плит из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов с применением арматурной стали классов A-I (A240), A-II (A300), A-III (A400), A-IV, A-V и A-VI, а также арматурной проволоки класса Bp-I (B500) и арматуры классов A400C, A500C (A500), A600C. Кроме того, подбор и проверка реализованы для композитной арматуры АСК, АБК, АУК, ААК, АКК в соответствии с требованиями СП 295.1325800.

Кроме того, программа **АРБАТ** выполняет роль справочника, с помощью которого можно получить данные о сортаментах и характеристиках арматуры, нормативных и расчетных сопротивлениях бетона, коэффициентах условий работы бетона и допускаемых предельных прогибах.

Реализованные в программе принципы управления, подготовки данных и документирования результатов расчета полностью совпадают с аналогичными режимами проектно-аналитических программ, входящих в состав системы **SCAD Office®**. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами. Активизация страницы происходит при нажатии на ее закладку, кроме того, используются меню.

7.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране монитора появляется главное окно (рис. 7.1-1), в котором выполняется выбор режима работы. Каждый из предусмотренных режимов вызывается нажатием соответствующей кнопки.

- Нормы проектирования выбираются из одноименного списка. Информация об установленных нормах выводится в нижнем левом углу окна активного режима. В данной версии программы реализован расчет по СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96, СНиП 52-01-2003 (СП 52-101-2003), СП 63.13330.2012, СП 63.13330.2018, ДБН В.2.6-98:2009, STR 2.05.05:2005, а также СНиП 2.03.01-84* с учетом изменений на территории Украины.

Все режимы работы можно условно разделить на четыре группы:

- справочные режимы, объединенные в группу **Информация**;

- расчетные режимы, реализующие проверку сечений и элементов с заданной арматурой, объединенные в группу **Экспертиза**;
- расчетные режимы, объединенные в группу **Местная прочность** и реализующие проверку прочности (экспертизу) элементов конструкций вблизи зоны приложения нагрузки;
- расчетные режимы, выполняющие подбор арматуры, объединенные в группу **Подбор арматуры**.

Справочные режимы представлены следующим набором:

- **Класс бетона** — просмотр значений нормативного и расчетного сопротивлений бетонов различного класса по предельным состояниям первой и второй групп по СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 или СП 52-101-2003, СП 63.13330;
- **Марка бетона (СНиП II-21-75)** — информация, аналогичная предыдущему режиму, но по маркам бетона в соответствии со СНиП II-21-75;
- **Арматура** — данные о сортаменте, нормативном и расчетном сопротивлении арматуры различного класса;
- **Коэффициенты условий работы** — информация из таблиц СНиП и СП;
- **Предельные прогибы** — значения предельных прогибов из таблицы 19 СНиП 2.01.07-85*;
- **Геометрические характеристики** — определяются геометрические характеристики (площадь, моменты инерции, параметры приведенного сечения и т.д.) заданного бетонного или железобетонного сечения;
- **Анкеровка арматуры** — расчет длины анкеровки (заделки) арматуры в бетоне и длины нахлеста (стык арматуры внахлестку) арматурных стержней.

Рис. 7.1-1. *Главное окно*

Проверочные режимы включают:

- **Сопротивление ж/б сечений** — для определения несущей способности сечений железобетонных элементов с заданным армированием;
- **Сопротивление бетонных сечений** — для определения несущей способности сечений бетонных элементов;
- **Прогиб балки** — для определения прогибов от заданной нагрузки в многопролетной балке;
- **Прогиб однопролетной балки** — для определения прогибов от заданной нагрузки в однопролетной балке;
- **Экспертиза балки** — для проверки несущей способности многопролетной балки с заданной арматурой;
- **Экспертиза однопролетной балки** — для проверки несущей способности однопролетной балки с заданной арматурой;
- **Экспертиза колонны** — для проверки несущей способности колонны с заданной арматурой;
- **Экспертиза плиты** — для проверки несущей способности плиты, опертой по контуру, с заданной арматурой;
- **Экспертиза плиты (по Карпенко)** — экспертиза элементов оболочки, плиты и балки-стенки на основании теории Н.И. Карпенко;
- **Предельная нагрузка** — определение максимально возможной (разрушающей) равномерно распределенной по площади нагрузки на плиту.

- В группу **Местная прочность** включены следующие режимы:
- **Местное сжатие —** проверка несущей способности элементов конструкций на местное сжатие;
- **Продавливание —** проверка несущей способности плитных конструкций на продавливание;
- **Отрыв** — проверка несущей способности мест сопряжений конструкций на отрыв;
- **Закладные детали** — проверка несущей способности закладных деталей;
- **Короткие консоли** — проверка коротких консолей на действие поперечной силы;
- **Шпонки** — проверка бетонных шпонок с заданными параметрами при действии сдвигающей и продольной сил.

- В группу **Подбор арматуры** включены:
- **Подбор арматуры в балке** — подбор арматуры в многопролетной балке;
- **Подбор арматуры в однопролетной балке** — подбор арматуры в однопролетной балке;
- **Подбор арматуры в колонне** — подбор арматуры в стойках;
- **Подбор арматуры в сечении** — подбор арматуры в сечении элемента;
- **Подбор арматуры в плите (по Карпенко)**— подбор арматуры в элементах оболочки, плиты и балки-стенки на основании теории Н.И. Карпенко.

7.2 Информационные режимы

Информационные режимы содержат данные о материалах, приведенные в СНиП и СП. Все значения в таблицах даны в тех же единицах измерения, что и в нормах, и не зависят от единиц настройки программы.

7.2.1 Класс бетона

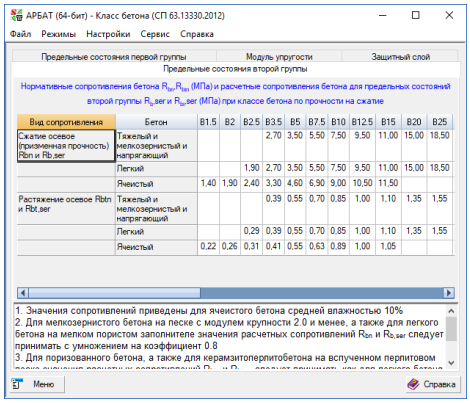


Рис. 7.2.1-1. *Окно режима* **Класс бетона**

Многостраничное окно этого режима (рис. 7.2.1-1) включает данные, представленные в разделе 2 (таблицы 12, 13 и 18) СНиП 2.03.01-84* (таблицы 5.1, 5.2 и 5.4 СП 52-101-2003, таблицы 6.7, 6.8 и 6.11 СП 63.13330), а также информацию о минимально допустимом защитном слое бетона.

7.2.2 Марка бетона

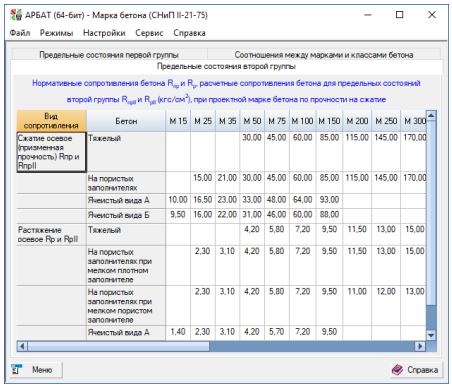


Рис. 7.2.2-1. *Окно режима* **Марка бетона**

В этом режиме (рис. 7.2.2-1) можно получить информацию о расчетных и нормативных сопротивлениях бетона различных марок в соответствии со СНиП II-21-75. Кроме того, здесь содержится информация о соотношении марок и классов бетона в соответствии с ГОСТ 26633-91.

7.2.3 Арматура

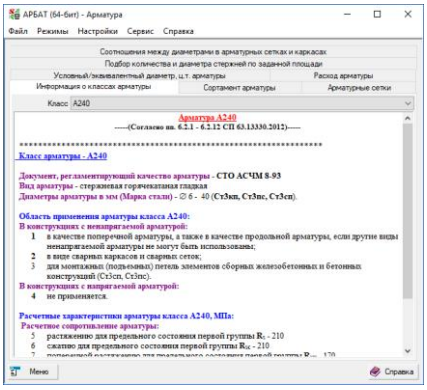


Рис. 7.2.3-1. *Режим* **Арматура**

В этом режиме (рис. 7.2.3-1) представлены данные о классах арматуры, а также информация о сортаменте арматуры, включающая расчетную площадь поперечного сечения при различном количестве стержней, теоретическую массу одного погонного метра и диаметры арматуры различного класса. Кроме того, на отдельной странице представлена информация об арматурных сетках согласно ГОСТ 23279-85 и о минимальных расстояниях между стержнями в сварных каркасах и сварных сетках. На последней странице приведена информация о соотношении между диаметрами свариваемых и вязаных стержней в арматурных сетках и каркасах (в соответствии с Руководством [10]).

Отдельная страница предназначена для преобразования площади сечения арматуры в стержни, подбора количества стержней, а также размещения арматурных стержней в сечении элемента.

Программа позволяет подобрать как минимально необходимое количество арматуры одного диаметра, так и комбинации стержней. При этом можно получить габарит стержней и схему их размещения в сечении элемента.

Результат может быть получен с некоторым заданным пользователем отклонением (т.е. суммарная площадь подобранных стержней может быть меньше/больше заданной на указанную величину отклонения). При отклонении равном 0% будет находится ближайшее большее значение суммарной площади стержней определённого диаметра (ограничение отклонения 0% применимо только для одиночных стержней, для комбинации стержней нужно задать некое возможное отклонение).

При этом в алгоритме подбора арматурных стержней заложены следующие ограничения и предположения:

- максимально возможное количество рядов арматуры по высоте – 3 ряда;
- количество арматурных стержней в третьем ряду – 2 шт.;
- в сечении элемента допускается применение до пяти разных диаметров (рекомендуется применять не более двух разных диаметров);
- стержни большего диаметра размещаются в первом ряду в углах сечения. В каждом ряду стержни большего диаметра всегда размещаются по краям;
- площадь сечения арматуры в сечении меньшего стержня не должна быть меньше 25% от площади сечения большего стержня;
- стержни 1-го ряда выравниваются по границе защитного слоя (центры тяжести стержней находятся не на одной линии – для возможности устройства хомута);
- центры стержней 2-го и 3-го рядов располагаются на одной прямой.

Программа позволяет получить отчетный документ. В отчет будут выведены только отмеченные пользователем варианты результатов расчета.

Страница **Условный/эквивалентный диаметр, ц.т. арматуры** открывает доступ к трем вспомогательным операциям:

Условный диаметр — предназначен для определения условного диаметра стержня при стесненных условиях размещения двух арматурных стержней (попарно без зазора между ними, либо с расстоянием между стержнями пары менее расстояния, требуемого для отдельных стержней). Такая пара стержней при назначении расстояний между стержнями и при определении длины анкеровки должна рассматриваться как условный стержень диаметром $d_{red} = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - c_1^2}$, где d_1 и d_2 – диаметры сближаемых стержней, c_1 – расстояние между этими стержнями в свету, принимаемое не более диаметра меньшего стержня (см. п. 5.40 и рис. 102 Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01.-84)).

Эквивалентный диаметр — предназначен для определения эквивалентного диаметра арматурного стержня при определении ширины раскрытия трещин, если в сечении используются стержни разных диаметров.

Для сечения со стержнями n_1 диаметром d_1 и n_2 диаметром d_2 эквивалентный диаметр d_{eq} определяется по формуле:

$$d_{eq} = \frac{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2}{n_1 d_1 + n_2 d_2}$$

Центр тяжести многорядной арматуры — предназначен для определения расстояния от грани бетона до центра тяжести многорядной арматуры.

Для сечения со стержнями определенного диаметра суммарной площадью $A_{s1}(A_{sn})$, находящимися на расстоянии $a_{s1}(a_{sn})$ от грани элемента центр тяжести при многорядном армировании определяется по формуле:

$$a = \frac{A_{s1}a_{s1} + A_{s2}a_{s2} + ... + A_{sn}a_{sn}}{A_{s1} + A_{s2} + ... + A_{sn}}$$

Страница **Расход арматуры** дает доступ к операции подсчета веса арматуры, суммарной площади поперечного сечения, а также количества арматурных стержней, расположенных на площадке прямоугольной или произвольной формы. Расчет выполняется для набора стержней, имеющих как одинаковый, так и разный диаметры.

В программе реализованы четыре вида расчетов:

- расход арматуры (определение общей площади и общего веса связки из N арматурных стержней);
- расход арматуры на условной полосе, размером a×L;
- расход арматуры на прямоугольной площадке, размером a×b;
- расход арматуры на площадке произвольной формы, площадью A.

Управление операцией выполняется в многостраничном диалоговом окне **Арматура**, которое вызывается из одноименного раздела меню **Сервис**. Вид расчета выбирается путем активации соответствующего маркера на странице **Расход арматуры**, после чего необходимо задать параметры арматуры и, если это необходимо, размеры площадки.

Расход арматуры связки из N арматурных стержней

Выполняется расчет общей площади и общего веса заданного количества стержней различного диаметра, в том числе и с учетом нахлеста (задается в % от суммарной длины арматуры). Каждому диаметру арматуры соответствует одна строка таблицы (рис. 7.2.3-2). Добавление новых строк или удаление ранее введенных выполняется кнопками **Добавить** и **Удалить** соответственно. Расчет выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Отчет по результатам расчета формируется нажатием одноименной кнопки.

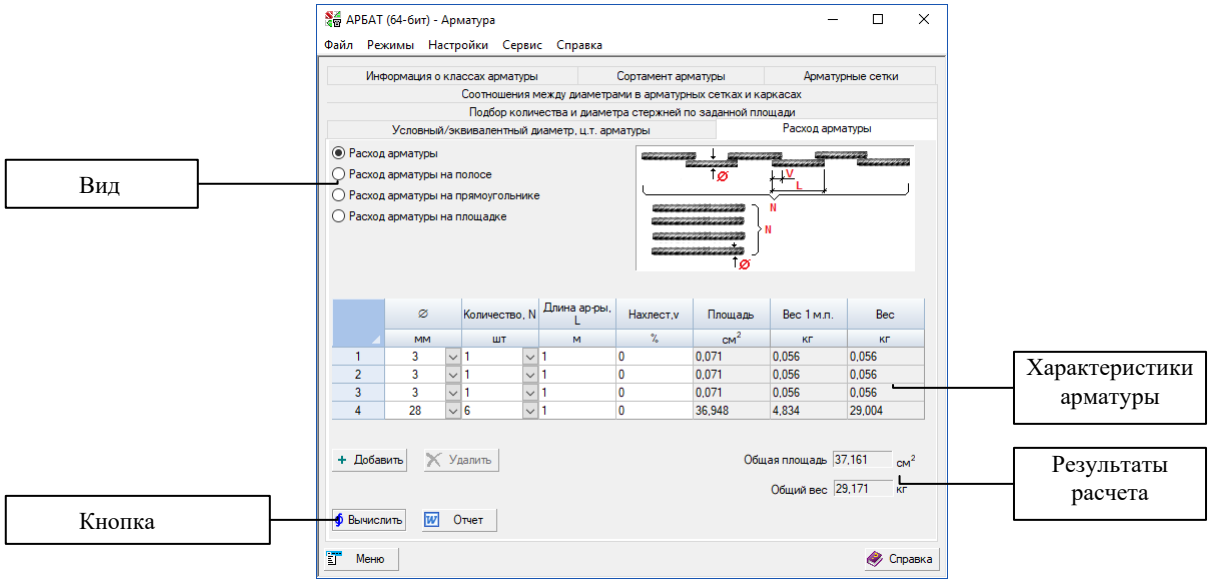


Рис. 7.2.3-2. *Страница* **Расход арматуры** при вычислении связки из N стержней

Расход арматуры на полосе

Выполняется расчет суммарной длины арматурных стержней, их общего веса и количества стержней, в том числе и с учетом нахлеста (задается в % от длины арматуры), для некоторой условной полосы длиной — **a**. В поперечном направлении полосы арматура может быть представлена как одним стержнем, так и связкой стержней, габаритная длина которого/которой равна — **L**. Расчет выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Отчет по результатам расчета формируется нажатием одноименной кнопки (рис. 7.2.3-3).

При учете арматуры на краях полосы к общему количеству стержней добавляется один стержень.

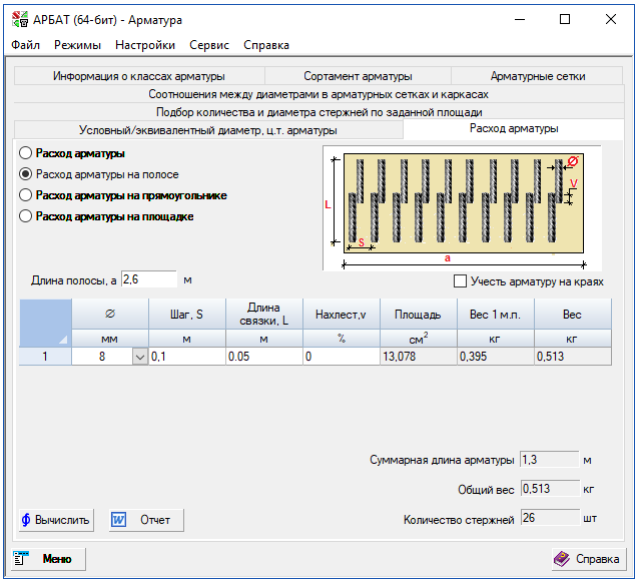


Рис. 7.2.3-3. *Страница* **Расход арматуры** при вычислении расхода арматуры по полосе

Расход арматуры на прямоугольнике

Выполняется расчет суммарной длины арматурных стержней, их общего веса и количества стержней, в том числе и с учетом нахлеста, для некоторой условной прямоугольной области размерами **a**×**b**. Предусмотрено, что арматура может располагаться как вдоль одной грани, например, **a**, так и вдоль обеих граней. Нахлест задается размером, кратным диаметру арматуры, например, число 10 в графе **Нахлест** соответствует значению 10D, где D — диаметр арматуры. При учете арматуры на краях прямоугольника к общему количеству стержней добавляются стержни заданной длины, расположенные вдоль грани прямоугольника.

Расчет выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Отчет по результатам расчета формируется нажатием одноименной кнопки.

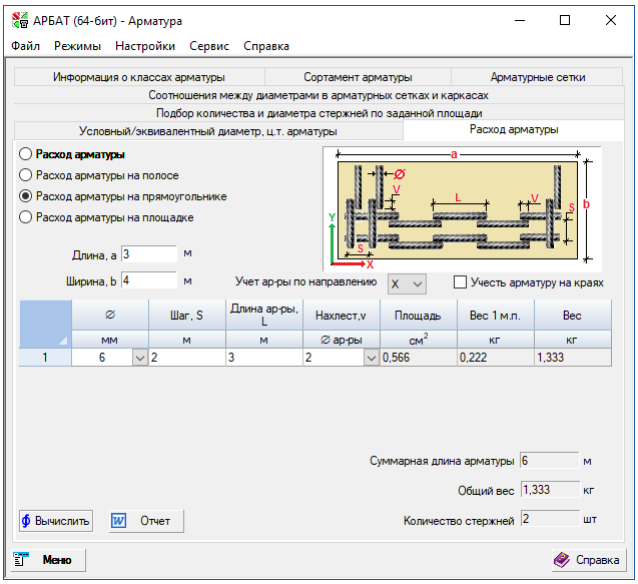


Рис. 7.2.3-4. *Страница* **Расход арматуры** при вычислении расхода арматуры на прямоугольнике

Расход арматуры на площадке

Выполняется расчет суммарной длины арматурных стержней, их общего веса и количества стержней, в том числе и с учетом нахлеста, для некоторой условной площадки, заданной площади. Арматура может располагаться как вдоль одной из осей X(Y), так и вдоль обеих осей. В случае учета нахлеста, его величина задается в % от суммарной длины арматурных стержней.

Расчет выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Отчет по результатам расчета формируется нажатием одноименной кнопки.

Результаты работы программы можно сохранить в файле с исходными данными с расширением **.sav**, а также получить отчет с результатами расчета.

7.2.4 Коэффициенты условий работы бетона

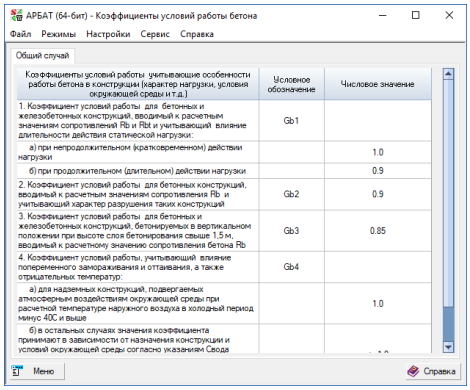


Рис. 7.2.4-1. *Режим* **Коэффициенты условий работы**

Этот режим (рис. 7.2.4-1) позволяет получить информацию о коэффициентах условий работы, приведенную в таблицах 15, 16 и 17 СНиП 2.03.01-84* (п. 5.1.10 СП 52-101-2003, пп. 6.1.12,6.1.9 СП 63.13330).

7.2.5 Предельные прогибы

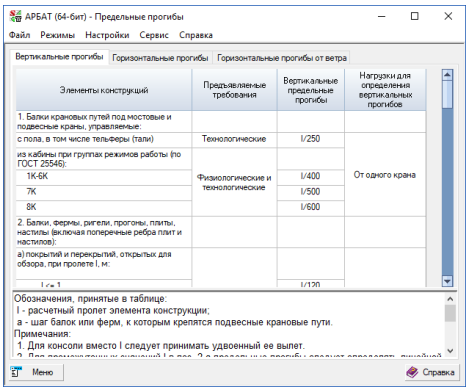


Рис. 7.2.5-1. *Режим* **Предельные прогибы**

Этот режим (рис. 7.2.5-1) позволяет получить информацию о значениях предельных вертикальных прогибов, а также предельных горизонтальных прогибов от кранов и ветра, приведенную в таблицах 19, 21 и 22 СНиП 2.01.07-85* (таблицах Е.1, Е.3 СП 20.13330.2011) .

7.3 Общие операции

Некоторые операции или группы элементов управления программой носят общий характер и используются в различных режимах работы, как расчетных, так и экспертизы. К ним относятся операции конструирования поперечных сечений, данные о бетоне и арматуре, формирование отчета и т.п. Ниже приводится описание таких операций и групп.

7.3.1 Конструирование поперечных сечений

Операции выбора поперечного сечения элементов конструкций встречаются в большинстве режимов работы программы.

Программа работает с шестью типами поперечных сечений элементов, схемы которых представлены на рис. 7.3.1-1. Выбор нужной формы производится нажатием соответствующей кнопки в группе, после чего следует задать размеры сечения и величины защитных слоев (в режимах подбора арматуры вместо защитного слоя требуется задание расстояния до центра тяжести арматуры).

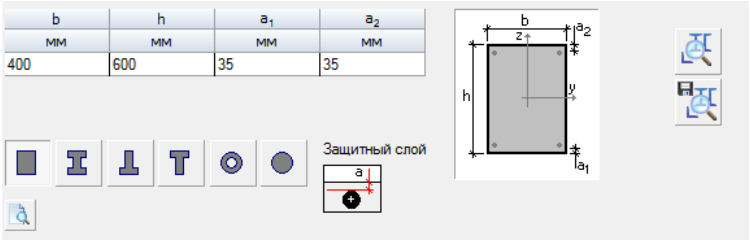


Рис. 7.3.1-1. *Типы поперечных сечений*

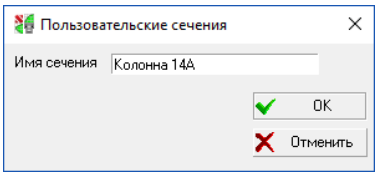


Рис. 7.3.1-2. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения**

В процессе работы с программой может быть создана база пользовательских сечений. Для записи в базу нового сечения используется кнопка , вызывающая диалоговое окно **Пользовательские сечения**, в котором задается имя сечения (рис. 7.3.1-2).

Поскольку программа не контролирует уникальность применяемых имен, за этим должен следить сам пользователь.

Для доступа к базе и загрузки созданного ранее сечения используется кнопка . Окно с базой пользовательских сечений (рис. 7.3.1-3) включает таблицу с именами сечений и кнопки, позволяющие произвести предварительный просмотр — или переименование (**Переименовать**) сечения. Для выбора сечения следует отметить соответствующую строку в списке и нажать кнопку **Применить**.

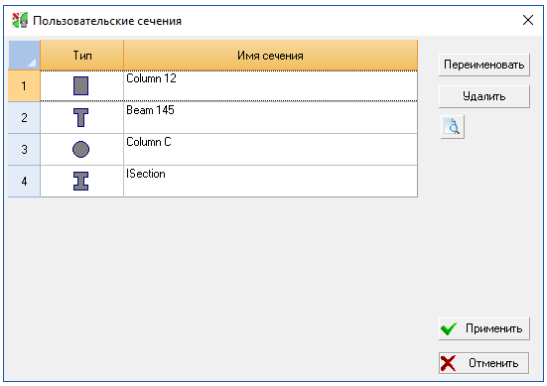


Рис. 7.3.1-3. *Диалоговое окно с перечнем пользовательских сечений*

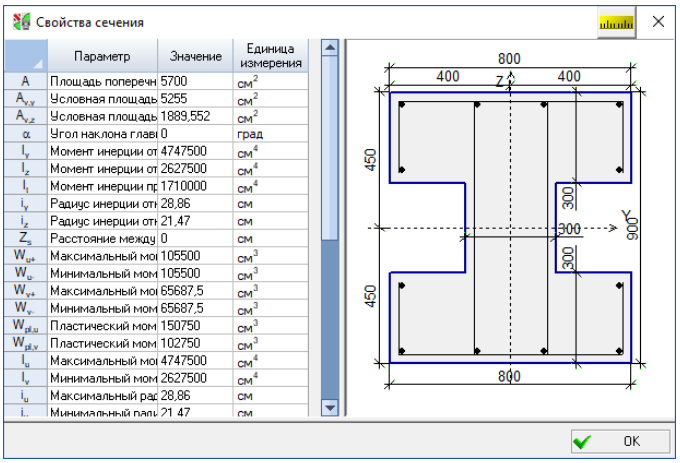


Рис. 7.3.1-4. *Диалоговое окно* **Предварительный просмотр**

Нажатие кнопки позволяет просмотреть сечение в диалоговом окне **Предварительный просмотр** (рис. 7.3.1-4).

Поскольку **АРБАТ** оперирует с железобетонными сечениями, то требуется также информация о бетоне и арматурных стержнях. Правила задания этих данных описаны ниже (см. разделы 7.3.2, 7.3.3).

7.3.2 Данные о бетоне

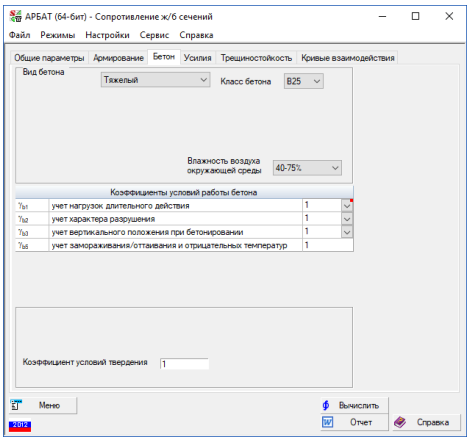


Рис. 7.3.2-1. *Страница* **Бетон**

Во всех расчетных режимах при подготовке данных на странице **Бетон** задается следующая информация: вид бетона, класс бетона, коэффициенты условий работы бетона, условия твердения и коэффициент условий твердения (рис. 7.3.2-1).

Класс тяжелого и мелкозернистого бетона выбирается из списка **Класс бетона**. Для легкого бетона сначала следует выбрать марку по средней плотности, а затем класс бетона и заполнитель.

Если расчет производится по СП 52-101-2003, то доступен только тяжелый бетон, поскольку правила проектирования из других видов бетона в этом документе не оговариваются. При расчетах по СП 63.13330 легкий бетон недоступен для выбора, поскольку деформационные характеристики "следует принимать по специальным указаниям".

Коэффициент условий работы бетона γ_{b2} (γ_{b1} в случае расчета по СП 52-101-2003 и СП 63.13330) учитывает длительность действия нагрузки.

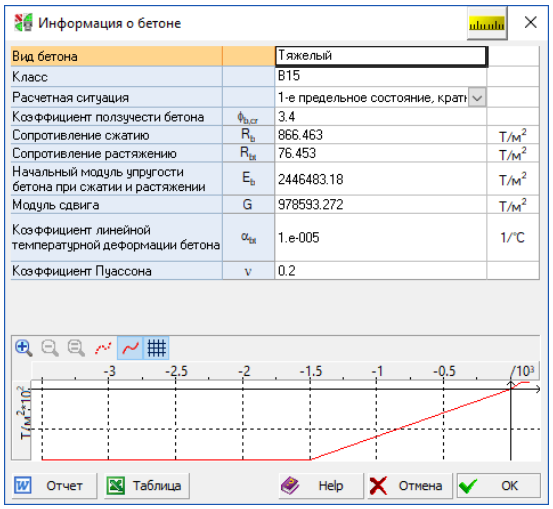
Величина коэффициента задается равной 1 или 0,9 (поз. 2 *а* таблицы 15 СНиП 2.03.01-84* и п. 5.1.10 *а* СП 52-101-2003 и п. 6.1.12 СП 63.13330) и по умолчанию принимается равной единице. В тех случаях, когда по условиям расчета необходимо принять другое значение этого коэффициента, оно может быть задано непосредственно в окне списка.

Если в комбинацию загружений входят кратковременные нагрузки, в расчете принимается γ_{b2} = 1,1 (независимо от того, какое значение было задано) в соответствии с указаниями поз. 2 *б* таблицы 15 СНиП 2.03.01-84*. Аналогичные действия производятся при расчетах по СП (в которых обозначение γ_{b2} заменено на γ_{b1}, а величина 1,1 заменена на 1,0).

Коэффициент условий работы бетона γ_b представляет собой произведение всех коэффициентов условий работы бетона из таблицы 15 СНиП 2.03.01-84* (п. 5.1.10 СП 52-101-2003 и п. 6.1.12 СП 63.13330) за исключением γ_{b2} (γ_{b1}). По умолчанию он принимается равным единице (в режиме **Сопротивление бетонных сечений** используется умолчание 0.9).

Если величина начального модуля упругости бетона отличается от табличного значения, то задается коэффициент условий твердения бетона, с помощью которого выполняется корректировка этого значения (назначается только при естественном твердении бетона).

Кнопка активизирует диалоговое окно, в котором приведены расчетные параметры материала.



Выпадающий список **Расчетная ситуация** позволяет выбрать тип расчета (1-е предельное состояние, 2-е предельное состояние, ...) параметры для которого следует отобразить.

7.3.3 Данные об арматуре

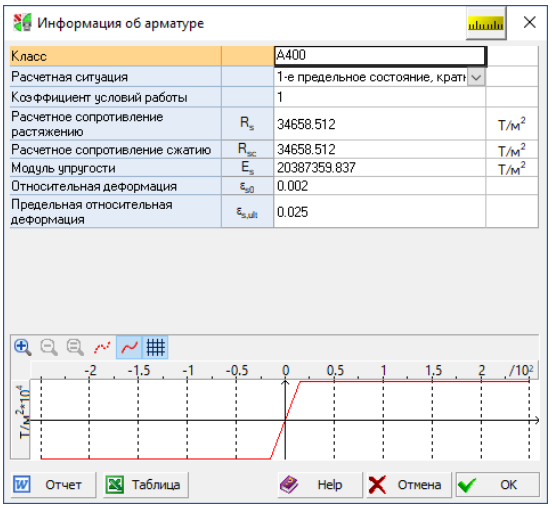
Данные об армировании сечения включают информацию о классах продольной и поперечной арматур, коэффициенты условий работы арматуры, а также данные о расположении арматурных стержней.

Класс арматуры (или вид композитной арматуры) выбирается из выпадающего списка, состав которого определен выбором норм проектирования (рис. 7.3.3-1). Коэффициенты условий работы арматуры должны быть введены пользователем и по умолчанию принимаются равными единице. Если выбран один из видов композитной арматуры, то дополнительно с помощью специального маркера следует указать условия эксплуатации — во внутренних помещениях или на открытом воздухе и грунте.

Арматура	Класс	Коэффициент условий работы
Продольная	A-II	1
Поперечная	A-I	1

Рис. 7.3.3-1. *Данные об арматуре*

Кнопка активизирует диалоговое окно, в котором приведены расчетные параметры материала.



Выпадающий список **Расчетная ситуация** позволяет выбрать тип расчета (1-е предельное состояние, 2-е предельное состояние, ...) параметры для которого следует отобразить.

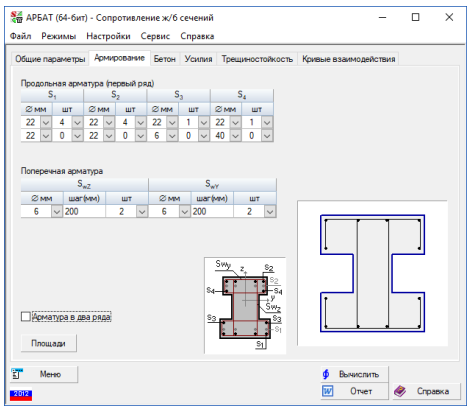


Рис. 7.3.3-2. *Расстановка арматурных стержней*

Информация о расстановке арматурных стержней, как правило, задается на отдельной странице **Армирование** (рис. 7.3.3-2).

Для ввода характеристик арматуры используются три таблицы: **Продольная арматура (первый ряд)**, **Продольная арматура (второй ряд)** и **Поперечная арматура**.

Таблица **Продольная арматура (первый ряд)** включает две строки. В первой строке приводится информация о диаметрах и количестве стержней нижней, верхней и боковой продольной арматуры, установленной в первом ряду. Вторая строка в таблице заполняется только в тех случаях, когда в первом ряду нижней (S_1), верхней (S_2) и/или боковой (S_3) арматуры установлены стержни разного диаметра (в программе предусмотрено, что в первом ряду можно разместить арматурные стержни двух диаметров).

Если активен маркер **Арматура в два ряда**, то появляется таблица **Продольная арматура (второй ряд)**. В ней задаются диаметр и количество стержней нижней и верхней продольной арматуры, установленной во втором ряду, а также расстояние в свету между первым и вторым рядами нижней (Δ_1) и верхней (Δ_2) арматуры. Если расстояние в свету задано равным нулю, то программа принимает это расстояние равным конструктивному минимальному расстоянию для стержней, которые при бетонировании занимают вертикальное положение.

Данные о поперечной арматуре вводятся в таблице **Поперечная арматура** (в этой таблице в столбце шт. следует задавать количество срезов, то есть число пересечений хомутов с плоскостью, проходящей через продольную ось стержня).

При заполнении таблиц действуют следующие правила интерпретации введенных данных:

- отсутствие продольной арматуры определяется нулевым значением количества стержней;
- нулевое значение шага поперечной арматуры интерпретируется программой как ее отсутствие;
- диаметр и количество стержней выбираются из выпадающих списков.

Форма заданного сечения и положение арматуры в сечении отображаются на схеме, приведенной на странице. Воспользовавшись кнопкой **Площади**, можно получить таблицу со значениями площадей заданного армирования (рис. 7.3.3-3).

Для прямоугольных сечений предусмотрена возможность задания «равномерного» армирования, при котором вдоль каждой грани сечения размещается одинаковое количество арматурных стержней одного диаметра и которое очень часто используется при армировании колонн. Для задания количества и диаметра стержней используется диалоговое окно **Прямоугольное сечение** (рис. 7.3.3-4), которое появляется после нажатия кнопки . После выхода из этого окна выполняется автоматическое заполнение таблицы **Продольная арматура (первый ряд)**.

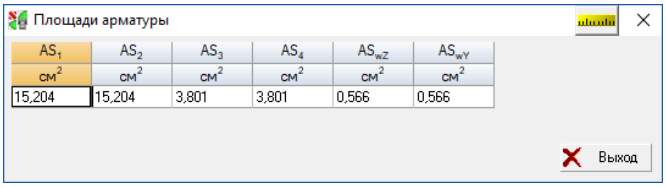


Рис. 7.3.3-3. *Диалоговое окно* **Площади арматуры**

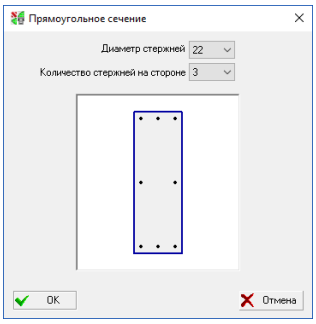


Рис. 7.3.3-4. *Диалоговое окно* **Прямоугольное сечение**

Если количество стержней больше двух, то заполняются обе строки таблицы. При этом в первую строку попадают по два стержня арматуры S_1 и S_2, которые являются угловыми, а также все стержни арматуры S_3. Во второй строке дается информация о промежуточных стержнях арматуры S_1 и S_2. Такое размещение информации в таблицах позволяет легко изменить диаметр угловых стержней.

Программа контролирует выполнение конструктивных требований п. 5.12 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (п. 5.3 СП 52-101-2003, п. 10.3.5 СП 63.13330) относительно минимального расстояния между стержнями арматуры и при нарушении этих требований выдает сообщение. При этом имеется возможность игнорировать предупреждение о нарушении ограничений нажатием кнопки **Игнорировать,** но все негативные последствия такого отказа не будут анализироваться.

7.3.4 Трещиностойкость

В тех случаях, когда требуется расчет по образованию и раскрытию трещин, должна быть введена информация о категории трещиностойкости, допустимой ширине раскрытия трещин и т.п. Все эти данные вводятся на странице **Трещиностойкость** (рис. 7.3.4-1).

Если назначается 1-я категория трещиностойкости (отсутствие трещин), то дополнительная информация на этой странице не задается.

Если расчет производится по СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96, и выбрана 3-я категория трещиностойкости (рис. 7.3.4-1, *а*), то необходимо из соответствующих списков выбрать условия эксплуатации конструкции, режим влажности бетона и влажность воздуха окружающей среды, после чего назначить допустимую ширину кратковременного и длительного раскрытия трещин (по умолчанию принимаются значения, рекомендуемые СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 из условий эксплуатации конструкции и параметров влажности).

Если расчет производится по СП 52-101-2003 и в выпадающем списке выбран пункт *Ограниченная ширина раскрытия трещин* (рис. 7.3.4-1, *б*), то следует задать требования к ширине раскрытия трещин (*из условия сохранности арматуры* или *из условия ограничения проницаемости конструкций*). При этом будут

автоматически установлены рекомендуемые п. 7.2.3 СП 52-101-2003 максимально допустимые ширины продолжительного и непродолжительного раскрытия трещин. При необходимости пользователь может откорректировать эти значения.

а *б*

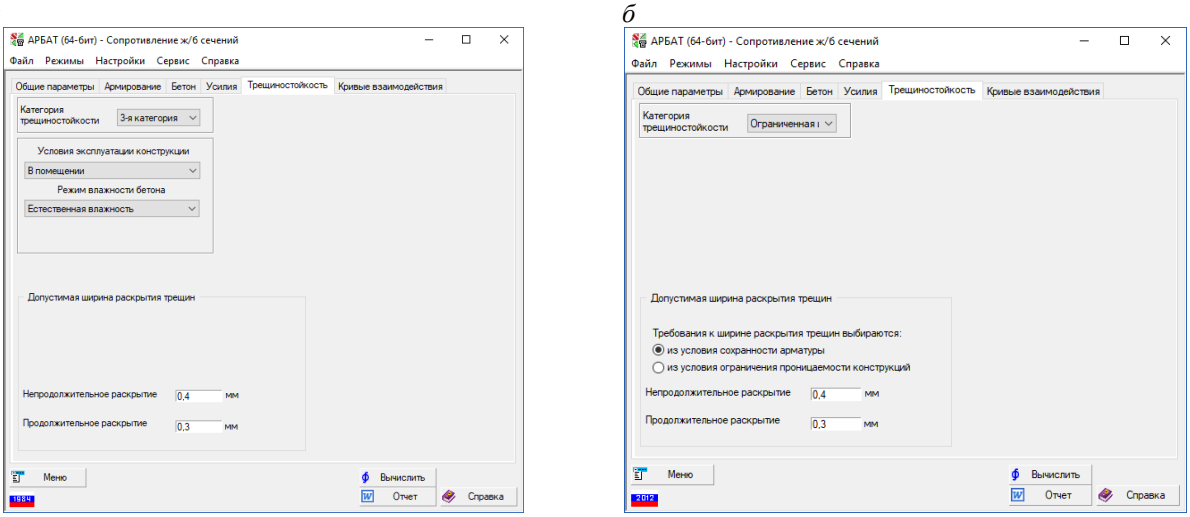


Рис. 7.3.4-1. *Данные о трещиностойкости*

7.3.5 Коэффициент надежности по ответственности

Во всех расчетных режимах требуется задание информации о коэффициенте надежности по ответственности согласно ГОСТ 27751-88. Коэффициент может быть выбран из выпадающего списка в соответствии с характеристикой объекта строительства (объект *повышенной*, *нормальной* или *пониженной* ответственности) или введен пользователем (в нестандартных ситуациях).

7.3.6 Огнестойкость

Под огнестойкостью понимают способность конструктивных элементов зданий сохранять прочность в условиях пожара. Огнестойкость здания зависит от пределов огнестойкости его основных конструктивных частей. При этом, наряду с механическими воздействиями, следует учитывать изменение теплотехнических и механических свойств бетона и арматуры под влиянием нагрева конструкции от пожара.

Для оценки огнестойкости выполняются следующие расчеты:

- теплотехнический расчет — анализ нагрева конструкции;
- прочностной расчет — анализ механического поведения конструкции.

Огнестойкость связана с необходимостью обеспечения необходимого запаса прочности конструкции в течение определенного времени.

В программе **Арбат** реализован анализ огнестойкости отдельных незащищенных элементов железобетонных конструкций.

Теплотехнический расчет

Расчет направлен на определение закона распределения температуры в расчетном сечении, когда температурное поле $T(y,z,t)$ определяется нелинейным нестационарным уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial z}\right)=c\rho\frac{\partial T}{\partial t},$$

где $\lambda(y,z,T)$ — коэффициент теплопроводности, $c(y,z,T)$ — удельная теплоемкость, ρ — плотность материала. Зависимость этих параметров от температуры представлена в нормативных документах.

Решение представленного выше уравнения теплопроводности выполняется для граничных условий, описывающих теплоотдачу от горячего воздуха

$$\frac{\partial T(t)}{\partial n} = \alpha\left[\theta(t) - T(t)\right].$$

А нагрев воздуха определяется температурой пожара $\theta(t)$, которая описывается определенным законом изменения во времени.

Начальные условия, учитываемые при решении уравнения теплопроводности, описывают постоянное по всей области сечения поле температур $T(y,z,0) = 20°C$.

Прочностной расчет

Проверка прочности сечения, выполняемая при оценке огнестойкости, отличается от обычного случая тем, что здесь:

- рассматривается особое (аварийное) предельное состояние и поэтому кроме огневого воздействия учитываются лишь нормативные постоянные и длительно действующие нагрузки;
- учитывается изменение физико-механических параметров материалов (бетона и арматуры), вызванное нагревом и, поскольку поле температур неравномерное, эти характеристики определяются для каждой расчетной точки поперечного сечения независимо.

Программа определяет значение коэффициента использования несущей способности K_{max} от комбинации нагрузок, которая включает только значения постоянных и длительно действующих нагрузок на момент $t = 0$. При расчете используются нормативные значения прочности материала (см., например, СП 296.1325800.2017).

Расчетные сопротивления бетона R_{bt} и арматуры R_{st}, а также их модули упругости E_{bt} и E_{st} принимаются с учетом значений R_b, R_s, E_b и E_s для заданных классов бетона и арматуры, но корректируются с учетом температуры нагрева T,°C по формулам

$$R_{bt} = R_b\gamma_{bt}; \quad R_{st} = R_s\gamma_{st}; \quad E_{bt} = E_b\beta_b; \quad E_{st} = E_s\beta_s.$$

Кроме того, от температуры зависит и значение критических деформаций арматуры ε_{s2} и бетона ε_{b2}, поскольку с изменением температуры меняется зависимость «напряжение-деформация».

В результате расчета определяются следующие факторы:

- Деформация бетона в нормальном сечении;
- Деформация арматуры в нормальном сечении;
- Прочность по полосе между наклонными сечениями при действии поперечной силы;
- Прочность наклонного сечения при действии поперечной силы.

Расчет и анализ результатов

Расчет на огнестойкость предусмотрен в режимах *Сопротивление железобетонных сечений*, *Экспертиза балки*, *Экспертиза однопролетной балки* и *Экспертиза колонны.* Для выполнения расчета следует активировать одноименный маркер на странице **Общие параметры**, после чего появится дополнительная страница ***Огнестойкость***.

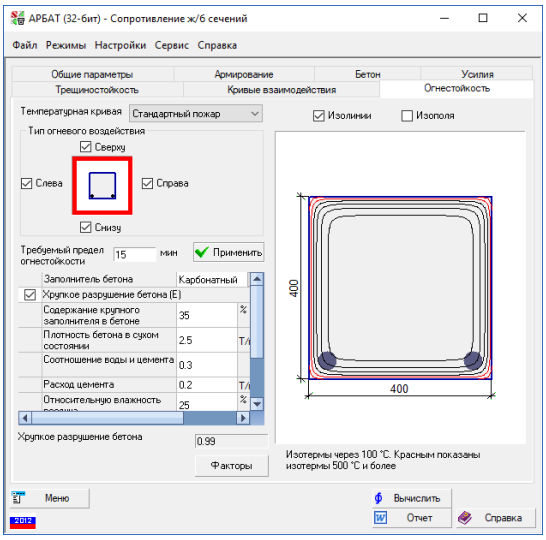


Рис. 7.3.6-1. *Страница* **Огнестойкость**

На этой странице следует из выпадающего списка выбрать **Температурную кривую**, задать **Тип огневого воздействия** (используя маркеры **Слева**, **Сверху**, **Справа**, **Снизу**), указать заполнитель бетона и задать **Требуемый предел огнестойкости**. После нажатия кнопки **Применить** программа произведет теплотехнический и прочностной расчет.

В случае балок и колонн дополнительно могут появляться выпадающие списки для выбора пролета и участка.

Если нужно выполнить анализ хрупкого разрушения бетона, то следует взвести соответствующий маркер и задать необходимые данные (соотношение воды и цемента, расход цемента, содержание крупного заполнителя в бетоне, ...).

Графическое отображение результатов теплотехнического расчета представлено в виде изополей и/или изолиний распределения температуры по сечению в заданное время (параметр **Требуемый предел огнестойкости**). Выбор типа отображения осуществляется одноименными маркерами. Динамическая оцифровка температурного поля выполняется при движении курсора мыши в сечении, что позволяет увидеть температуру в конкретной точке сечения (если курсор мыши находится в пределах расположения арматурного стержня, то выводится значение температуры в центре этого стержня).

Результатом расчета является значение коэффициента использования ограничений K_{max}. Вывод диаграммы факторов активируется нажатием кнопки **Факторы**.

К сожалению, СТО 36554501-006-2006 (и Пособие к этому СТО) содержит много ошибок и опечаток. Ниже перечислены некоторые корректировки, которые были внесены при реализации расчета огнестойкости.

- В п. 6.3 СТО 36554501-006-2006 в формуле для определения коэффициента теплоемкости указан знак «-», что очевидно является опечаткой, т.к., например, в МДС 21-2.2000 и других источниках указан знак «+».
- В п. 9.3 СТО 36554501-006-2006 неверно указана размерность коэффициента пропорциональности (Вт $м^{3/2}$/кг). Правильной является размерность Вт $м^{5/2}$/кг (см. *Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения*, М., Стройиздат, 1979).
- Согласно п. 5.11 СТО 36554501-006-2006 величина ε_{s2}=0,0025 при t_s = 20 - 200 °C. Очевидно, что это опечатка и следует использовать ε_{s2}=0,025 (см. п. 6.2.14 СП 63.13330), поскольку при низких температурах должно быть соответствие между обычным расчетом и расчетом с учетом действия пожара. По аналогичным соображениям вместо приведенной в п. 5.7 СТО 36554501-006-2006

величины ε_{b2}=0,00035 (или ε_{b2}=0,000035 из п. 8.2 Пособия к СТО 36554501-006-2006) используется ε_{b2}=0,0035 (см. п. 6.1.20 СП 63.13330).

Перечисленные выше ошибки исправлены в СП 468.1325800.2019, но в этом СП отсутствуют рекомендации по расчету огнестойкости на основании нелинейной деформационной модели, позволяющей производить анализ в общем случае. Поэтому в программе решение теплотехнический расчет производится согласно СП 468.1325800.2019, а анализ прочности — согласно рекомендациям СТО 36554501-006-2006.

7.3.7 Дополнительные настройки

Рядом с иконкой, которая указывает на выбранные нормы проектирования, расположена кнопка , которая позволяет активизировать специальное диалоговое окно для задания дополнительных параметров расчета.

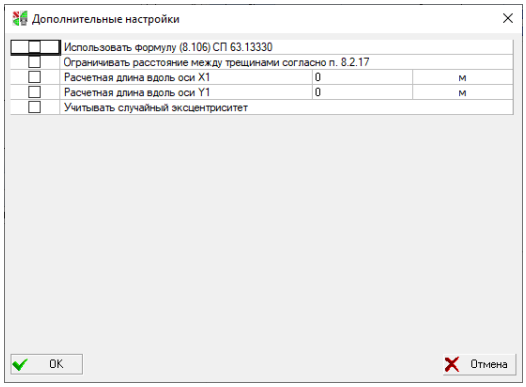


Рис. 7.3.7-3. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

- ***Ограничивать расстояние между трещинами согласно пункту 8.2.17***

Программа производит расчет пластинчатых элементов на основании теории Н.И. Карпенко, поскольку в СП 63.13330 приведены рекомендации по расчету плоскостных элементов только для частных случаев (плиты и балки стенки). Четких указаний по расчету оболочечных элементов, в которых одновременно действует как мембранная, так и изгибная группы усилий, в нормах нет. В **АРБАТ** ширина раскрытия трещин определяется по рекомендуемым Н.И. Карпенко формулам типа $(\varepsilon_x+\varepsilon_y)l$, где l — расстояние между трещинами, ε_x,ε_y — относительные деформации в соответствующих направлениях.

СП 63.13330 для определения ширины раскрытия трещин в плоскостных элементах отсылает к разделу 8.2 (требуя при этом отказаться от учета крутящих моментов), в котором рассматривается трещинообразование стержневых элементов и содержится ограничение на расстояние между трещинами: “не менее 10 d_s и 10 см и не более 40 d_s и 40 см”. Авторам программы неизвестно, насколько обоснованным является такое ограничение применительно к пластинчатым элементам, поэтому по умолчанию данное ограничение не используется, но пользователь может его активировать, используя данную дополнительную опцию.

- ***Использовать формулу (8.106) СП 63.13330***

Используемый по умолчанию алгоритм расчета железобетонных плоскостных элементов основан на двух раздельных расчетах — на действие Q_x и действие Q_y. СП 63.13330 содержит следующую рекомендацию по расчету на действие поперечных сил — формула (8.106)

$$\frac{Q_x}{Q_{x,ult}}+\frac{Q_y}{Q_{y,ult}}\le 1.$$

Обоснованность данной формулы, в которой суммируются напряжения на различных площадках, авторам программы кажется весьма сомнительной. Исходя из условий правил сложения векторов, логичней было бы рассматривать поперечную силу $Q=\sqrt{Q_x^2+Q_y^2}$. Аналогичная рекомендация об анализе работы плоскостных элементов содержится, например, в статье С.Н. Карпенко "*О современных методах расчета высотных зданий из монолитного железобетона"*, Высотные здания, 2007, № 3, 34-39.

- ***Увеличивать продольную арматуру при реализации п. 8.1.34 СП 63.13330***

Появившийся в СП 63.13330 пункт 8.1.34 регламентирует учет продольной силы при анализе работы стержневого элемента на действие поперечных сил. Очевидно, что данный пункт заимствован из EN 1992-1-1 (см. п. 6.3.2). Но в отличие от Eurocode, в котором коэффициент φ_n используется только в случае преднапряженных конструкций, СП 63.13330 требует использовать данный коэффициент и при отсутствии преднапряжения.

При сравнительно больших продольных силах подбор поперечной арматуры можно производить двумя способами. Первый (используемый по умолчанию) состоит в том, что после подбора продольной арматуры производится подбор поперечной. Ранее подобранная продольная арматура учитывается при вычислении коэффициента φ_n, но площадь продольной арматуры не меняется при подборе поперечной арматуры. Второй способ состоит в том, чтобы, зафиксировав тот факт, что величина φ_n слишком мала, попытаться (это не всегда возможно) увеличить площадь продольной арматуры и подобрать поперечную. Второй вариант в большинстве случаев приводит к неоправдано высокому проценту армирования (более эффективным является увеличение опалубочных размеров сечения) и по умолчанию не используется. Однако данная опция позволяет пользователю ее активировать.

- ***Игнорировать кручение***

Эта опция может быть использована при расчетах по EN 1992-1-1. Введение данной опции связано с тем, что п. 6.3.1(2) EN 1992-1-1 упоминает достаточно широкий набор ситуаций, при которых нет необходимости учитывать кручение. Кроме того, отказ от расчета на действие крутящего момента позволяет обойти одну нелогичность EN 1992-1-1. Дело в том, что при отсутствии крутящего момента расчет на действие поперечной силы учитывает как сопротивление бетона, так и сопротивление арматуры (см. п. 6.2.3). Если же имеет место одновременное действие поперечной силы и крутящего момента, то п. 6.3.2(4) ограничивает сопротивление несущей способностью бетона.

- ***Реализация п. 8.1.34 СП 63.13330***

В СП 63.13330 появился п. 8.1.34, который регламентирует расчет на действие поперечных сил при внецентренном сжатии/растяжении. Следует отметить, что правила вычисления коэффициента φ_n в этом пункте почти дословно заимствованы из EN 1992-1-1, но в EN 1992-1-1 данные правила относятся только к преднапряженным элементам. Кроме того, п. 8.1.34 СП 63.13330 оставляет открытым вопрос о правилах вычисления коэффициента φ_n в том случае, когда среднее напряжение от действия растягивающей силы σ_t превышает R_{bt}. По умолчанию в этом случае в программе используется $\varphi_n=10^{-6}$, однако другим возможным (и достаточно логичным) может быть использование $\varphi_n=0.5$ (значение, которое соответствует $\sigma_t = R_{bt}$). Для того, чтобы избежать выше перечисленных проблем, программа предоставляет возможность пользователю взять на себя ответственность и самому установить нижнюю границу коэффициента φ_n при растяжении, а также верхнюю и нижнюю границы φ_n при сжатии. В частности, установив значения всех границ в 1.0 пользователь получает расчет соответствующий рекомендациям EN 1992-1-1, а установив значение нижней границы φ_n равным 0.5 пользователь получит «альтернативный» вариант определения φ_n при $\sigma_t > R_{bt}$.

Изменение № 2 к СП 63.13330.2018 меняет правила вычисления коэффициента φ_n. При выборе в качестве норм проектирования СП 63.13330.2018 это изменение будет учтено, но специальная опция позволяет отказаться от использования этого изменения.

- ***Фактор по нормализованной нормальной силе***

При расчете железобетонных пластичных стен на действие сейсмических воздействий п. 5.4.3.4.1(2) EN 1998-1 требует ограничивать величину нормализованной осевой силы значением 0.4. Активация данного маркера приводит к тому, что при экспертизе будет дополнительно вычисляться фактор равный $N/(0.4 \cdot A \cdot f_{cd})$, который позволит контролировать выполнение данного требования.

- ***Увеличивать расчетные поперечные силы для сейсмических комбинаций***

Данный маркер позволяет при расчете на действие сейсмических воздействий использовать значения поперечных сил увеличенное на 50% и тем самым удовлетворить требование п. 5.4.2.4(7) EN 1998-1.

- ***Использовать трехлинейную диаграмму работы бетона при расчетах по прочности***

При расчетах по первому предельному состоянию по умолчанию программа использует двухлинейную диаграмму работы бетона. Такой выбор значения по умолчанию обусловлен тем, что в п. 6.1.16 СП 311.1325800 и п. 8.26 СТО 36554501-006-2006 требуют использовать именно такую диаграмму.

В то же время СП 63.13330 возволяет использовать как двухлинейную так и трехлинейную диаграмму. Данный параметр позволяет переключиться в режим работы с трехлинейной диаграммой.

- ***Учитывать работу растянутого бетона в нелинейной деформационной модели при анализе прочности***

Большинство нормативных документов при расчетах по первому предельному состоянию требуют не учитывать работу растянутого бетона. Но при расчетах прочности нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели в некоторых нормах сказано, что "*сопротивление бетона растянутой зоны* **допускается** *не учитывать*" (см. п. 6.1.2 ДБН В.2.6-98:2009 или п. 8.1.20 СП 63.13330). Данный параметр позволяет выполнять расчеты с учетом сопротивления растянутого бетона.

- ***Расчетная длина вдоль оси X_1 (Y_1)***

В нормативных документах правила учета продольного изгиба (эффектов второго порядка) достаточно четко оговорены для стержневых элементов. Для пластин формулировки норм не столь четкие. Поэтому учет этих эффектов в программе сделан опциональным. Если пользователь задал расчетную длину для оси X_1 (аналогично для Y_1), то при наличии сжимающей силы N_x момент M_x будет увеличен на коэффициент продольного изгиба η.

- ***Учитывать случайный эксцентриситет (геометрические несовершенства)***

В нормативных документах правила учета геометрических несовершенств (случайного эксцентриситета) достаточно четко оговорены для стержневых элементов. Для пластин формулировки норм не столь четкие. Поэтому учет этих эффектов в программе сделан опциональным. При расчетах по EN 1992 при наличии сжимающей силы N_x (аналогично для N_y) используется минимальный эксцентриситет, равный e_0=max(h/30; 20 мм), где h — толщина пластины. При расчетах по СНиП, ДБН, СП e_0=max(L/600;h/30; 10 мм), где L — соответствующая расчетная длина, которую задал пользователь (см. выше). Если при

расчетах по этим нормативным документам не заданы расчетные длины, то величина минимального эксцентриситета будет вычислена без учета члена $L/600$.

- ***Ограничение напряжений***

При расчетах по второму предельному состоянию по EN 1992-1-1 (п. 7.2) или ДБН В.2.6-98:2009 (п. 5.2 ДСТУ Б В.2.6-156-2010) в некоторых случаях требуется ограничение уровня напряжений для предотвращения образования продольных микротрещин. Данная опция позволяет при экспертизе железобетонных конструкций вычислить соответствующие факторы.

7.4 Экспертиза

Экспертные режимы производят проверку сечений элементов железобетонных конструкций на соответствие требованиям СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 по следующим факторам[1]:

- прочность по предельному моменту сечения — пп. 3.15–3.20, 3.27–3.28;
- прочность по предельной продольной силе сечения — п. 3.26, 3.28;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости $L_0 / i > 14$ — пп. 3.6,3.24;
- прочность по предельной продольной силе с учетом арматуры по высоте сечения — п. 3.64 Пособия к СНиП 2.03.01-84*;
- момент, воспринимаемый сечением при образовании трещин — п. 4.5;
- ширина раскрытия трещин (кратковременная) — пп. 4.14, 4.15;
- ширина раскрытия трещин (длительная) — пп. 4.14, 4.15;
- ширина раскрытия наклонных трещин (кратковременная) — п. 4.17;
- ширина раскрытия наклонных трещин (длительная) — п. 4.17;
- напряжения в поперечной арматуре — п. 4.17;
- прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами — п. 3.30;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — п. 3.32;
- прочность по наклонной трещине — п. 3.31 СНиП, п. 3.31 Пособия к СНиП 2.03.01-84*[2];
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — п. 3.5, 3.8;
- прочность сечения при воздействии крутящего момента;
- сопротивление арматуры крутящему моменту;
- сопротивление боковой арматуры крутящему моменту;
- сопротивление поперечной арматуры крутящему моменту.

Отметим, что для изгибаемых элементов СНиП 2.03.01-84* дает две возможности анализа прочности — по так называемому общему случаю (п. 3.28*) и по упрощенным формулам, которые пригодны только при одноосном напряженном состоянии. В программе всегда при экспертизе изгибаемых элементов, за исключением режима **Сопротивление Сечений** с опцией **Площади арматуры** (см. ниже), используется общий случай.

Это связано со следующим обстоятельством. При однорядном армировании разница между этими двумя случаями расчета практически отсутствует. Если же схема армирования более сложная (например, есть арматурные стержни, расположенные по бокам прямоугольного сечения), то результат зависит от того, как мы «назовем» эти стержни — второй ряд нижней/верхней арматуры или боковой арматурой (расхождение может достигать 10–20%).

[1] Расчет на действие крутящего момента производится по формулам, предложенным Мёршем и Раушем (см. [50]).

[2] Программа использует данный пункт Пособия вместо пункта 3.31 СНиП, поскольку рекомендации Пособия дают более точные результаты.

Проверка сечений элементов бетонных конструкций на соответствие требованиям СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 выполняется по следующим факторам:

- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 3.1–3.5 СНиП;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости L_0 / i >14 — пп. 3.6, 3.24;
- прочность по предельной продольной силе при расчете из плоскости изгиба — пп. 1.21, 3.2, 3.3 СНиП;
- прочность по предельному моменту сечения — п. 3.8;
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — пп. 3.5, 3.8;
- прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами — п. 3.30;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — п. 3.32;
- поперечная сила при отсутствии наклонных трещин — п. 4.4 Пособия к СНиП 2.03.01-84*.

Если расчет производится по СП 52-101-2003, то проверка сечений элементов железобетонных конструкций выполняется по следующим факторам:

- прочность растянутого бетона;
- прочность по предельной продольной силе сечения — п. 6.2.19;
- прочность по предельному моменту сечения — пп. 6.2.9-6.2.15;
- деформации в сжатом бетоне — пп. 6.2.21-6.2.31;
- деформации в растянутой арматуре — пп. 6.2.21-6.2.31;
- высота растянутой зоны бетона — пп. 4.1.2а, 6.2.30;
- деформации в растянутом бетоне — пп. 6.2.30, 6.2.31, 7.2.11;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости L_0/i>14 — п. 6.2.16;
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — пп. 6.1.9, 6.1.12;
- момент, воспринимаемый сечением при образовании трещины — п. 7.2.1;
- ширина раскрытия трещин (кратковременная) — пп. 7.2.3, 7.2.4, 7.2.12;
- ширина раскрытия трещин (длительная) — пп. 7.2.3, 7.2.4, 7.2.12;
- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 6.2.3, 6.2.8, 6.2.16, п. 3.50 Пособия к СП 52-101-2003 (далее Пособия к СП);
- прочность по предельной продольной силе сечения с учетом арматуры по высоте сечения — п.п. 6.2.17, п. 3.58 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность по поперечной силе, воспринимаемой только бетоном — п. 6.2.34, пп. 3.52,3.71 Пособия к СП;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — п. 6.2.34, пп. 3.52,3.71 Пособия к СП;
- прочность по наклонному сечению — п. 6.2.34, пп. 3.52,3.71 Пособия к СП;
- поперечная сила при отсутствии наклонных трещин — п.4.28 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Qz — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_y — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность сечения при воздействии крутящего момента — п. 6.2.37;
- сопротивление арматуры S_1 крутящему моменту;
- сопротивление арматуры S_2 крутящему моменту;
- сопротивление боковой арматуры крутящему моменту;
- сопротивление поперечной арматуры S_{Wz} крутящему моменту;

- сопротивление поперечной арматуры S_{Wy} крутящему моменту;
- прочность элемента между пространственными сечениями— п. 6.2.41.

Сечения элементов бетонных конструкций проверяются по следующим факторам:

- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 6.1.9-6.1.10;
- прочность по предельному моменту сечения — пп. 6.1.12;
- прочность растянутого бетона;
- деформации в сжатом бетоне — пп. 6.2.21–6.2.31;
- высота растянутой зоны бетона — пп. 4.1.2а, 6.2.30;
- деформации в растянутом бетоне — пп. 6.2.30, 6.2.31, 7.2.11;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости $L_0/i>14$ — п. 6.2.16;
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — пп. 6.1.9, 6.1.12;
- момент, воспринимаемый сечением при образовании трещины — п. 7.2.1;
- ширина раскрытия трещин (кратковременная) — пп. 7.2.3, 7.2.4, 7.2.12;
- ширина раскрытия трещин (длительная) — пп. 7.2.3, 7.2.4, 7.2.12;
- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 6.2.3, 6.2.8, 6.2.16, п. 3.50 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность по поперечной силе, воспринимаемой только бетоном — п. 6.2.34, пп. 3.52, 3.71 Пособия к СП;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — п. 6.2.34, пп. 3.52, 3.71 Пособия к СП;
- прочность по наклонному сечению — п. 6.2.34, пп. 3.52, 3.71 Пособия к СП;
- поперечная сила при отсутствии наклонных трещин — п.4.28 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_z — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_y — п. 6.2.33, п. 3.52 Пособия к СП;
- прочность сечения при воздействии крутящего момента — п. 6.2.37.

Если расчет производится по СП 63.13330, то проверка сечений элементов железобетонных конструкций выполняется по следующим факторам:

- прочность по предельной продольной силе сечения — п. 8.1.18;
- прочность растянутого бетона;
- прочность по предельному моменту сечения — пп. 8.1.8-8.1.14;
- деформации в сжатом бетоне — пп. 8.1.20-8.1.30;
- деформации в растянутой арматуре — пп. 8.1.20-8.1.30;
- высота растянутой зоны бетона — п. 8.1.29;
- деформации в растянутом бетоне — пп. 8.1.29, 8.1.30, 8.2.14;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости $L_0/i>14$ — пп. 7.1.11, 8.1.15;
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — пп. 7.1.9, 7.1.12;
- момент, воспринимаемый сечением при образовании трещины — пп. 8.2.4, 8.2.11;
- ширина раскрытия трещин (кратковременная) — пп. 8.2.6, 8.2.15, 8.2.16;
- ширина раскрытия трещин (длительная) — пп. 8.2.6, 8.2.15, 8.2.16;
- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 8.1.15, 8.1.18;
- прочность по предельной продольной силе сечения с учетом арматуры по высоте сечения — п.п. 8.1.16;

- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность по поперечной силе, воспринимаемой только бетоном — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по наклонному сечению — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Qz — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_y — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность сечения при воздействии крутящего момента — п. 8.1.37;
- сопротивление арматуры S_1 крутящему моменту;
- сопротивление арматуры S_2 крутящему моменту;
- сопротивление боковой арматуры крутящему моменту;
- сопротивление поперечной арматуры S_{Wz} крутящему моменту;
- сопротивление поперечной арматуры S_{Wy} крутящему моменту;
- прочность элемента между пространственными сечениями— п. 8.1.41.

Сечения элементов бетонных конструкций проверяются по следующим факторам:

- прочность по предельной продольной силе сечения — пп. 7.1.9-7.1.10;
- прочность по предельному моменту сечения — пп. 7.1.12;
- прочность растянутого бетона;
- деформации в сжатом бетоне — пп. 8.1.20–8.1.30;
- высота растянутой зоны бетона — п. 8.1.29;
- деформации в растянутом бетоне — пп. 8.1.29, 8.1.30, 8.2.14;
- продольная сила при учете прогиба при гибкости L_0/i>14 — пп. 7.1.11, 8.1.15;
- прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны — пп. 7.1.9, 7.1.12;
- момент, воспринимаемый сечением при образовании трещины — пп. 8.2.4, 8.2.11;
- ширина раскрытия трещин (кратковременная) — пп. 8.2.6, 8.2.15, 8.2.16;
- ширина раскрытия трещин (длительная) — пп. 8.2.6, 8.2.15, 8.2.16;
- прочность по предельной продольной силе сечения — п. 8.1.15;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность по поперечной силе, воспринимаемой только бетоном — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по наклонным сечениям без поперечной арматуры — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по наклонному сечению — пп. 8.1.33, 8.1.34;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_z — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность по бетонной полосе между наклонными сечениями по Q_y — пп. 8.1.32, 8.1.34;
- прочность сечения при воздействии крутящего момента — п. 8.1.37.

Если выбраны нормы проектирования СП 52-101-2003 или СП 63.13330, то расчет нормальных сечений и расчеты по второму предельному состоянию производятся на основании нелинейной деформационной модели, при этом диаграммы состояний бетона выбираются в соответствии с рекомендациями пп. 5.1.21-5.1.24 СП 52-101-2003 и пп. 6.1.23-6.1.26 СП 63.13330. В качестве диаграмм работы арматуры используются диаграммы, описанные в п. 5.2.11 СП 52-101-2003 и п. 6.2.13 СП 63.13330. Исключение составляет режим **Сопротивление сечений** при взведенном маркере **Площади арматуры**. В этом случае используется метод предельных усилий.

В СП 63.13330, в отличие от СП 52-101-03 (точнее, Пособия к этому СП), не оговорено условие образования наклонных трещин. В программе все же выполняется такая проверка при условии, что установлено требование отсутствия трещин. Расчет реализован в соответствии с рекомендациями п. 4.28 Пособия к СП 52-101-03.

При расчетах по СП 52-101-2003 или СП 63.13330 программа вычисляет факторы:

- Прочность по предельной продольной силе;
- Прочность по предельному моменту.

Первый из них представляет собой отношение $\frac{|N|}{R_s A_{s,tot}}$ для растянутых элементов и $\frac{|N|}{R_s A_{s,tot} + R_b A}$ для сжатых элементов. Хотя формально требования проверки данного фактора в нормах нет (за исключением п. 6.2.19 СП 52-101-2003 и п. 8.1.18 СП 63.13330), фактически без проверки того факта, что эта величина меньше единицы, мы не можем проводить другие расчеты, например, вычислить коэффициент φ_n в п. 8.1.34 СП 63.13330. По аналогичным соображениям был введен фактор *Прочность по предельному моменту*, который представляет собой число, на которое следует разделить N, M_y, M_z, чтобы получить предельно допустимые значения деформаций бетона или арматуры.

Методика СНиП анализа прочности по наклонным сечениям ориентирована на работу с эпюрой поперечных сил, используя которую можно получить “поперечную силу в наклонном сечении с длиной проекции С на продольную ось элемента, определяемую от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения”. Это легко сделать в случае одного нагружения. Но при многих вариантах нагружения мы имеем их огибающую, которая не является равнодействующей всех внешних сил. Как поступать в этом случае нормы не говорят. Поэтому в запас надежности используются значения поперечных сил в расчетных сечениях.

Фактически расчет круглого и кольцевого сечений на действие поперечной силы в нормах не оговорен. При формальном анализе формул СНиП сразу видно, что нужны две величины b и h_0. Величина h_0 в нормах четко определена, а что такое ширина сечения – неясно. В SCAD расчет производится следующим образом. Везде, где при расчете на действие поперечной силы требуется величина $b \times h_0$, используется величина равная площади сечения, имеющего внешний радиус R-a, где R – внешний радиус рассматриваемого сечения, a – расстояние до центра тяжести арматуры.

При расчете по СП 52-101-03 п. 3.52 Пособия указывает как учесть влияние продольной силы при расчете на действие поперечных сил. Отметим, что в п. 3.52 в формуле для величины N_b=1,3$R_b A$ не учтена продольная арматура. Существует письмо авторов СП, в котором описывается альтернативный способ вычисления величины N_b с учетом наличия продольной арматуры (N_b=$R_b A$+$R_s A_{s,tot}$). В настройках программы **Арбат** есть специальная страница **Расчет**, на которой пользователь может установить маркер позволяющий программе при экспертизе использовать эту формулу для определения N_b. Так как наличие вышеупомянутого письма дает два метода расчета N_b (по СП или по письму), поэтому программа вычисляет N_b двумя разными способами и использует наибольшее значение.

7.4.1 Сопротивление железобетонных сечений

В этом режиме реализуется функция определения несущей способности каждого из предусмотренных в программе поперечных сечений в зависимости от положения, диаметра (площади) и класса арматуры, класса бетона, условий эксплуатации и допустимой ширины раскрытия трещин.

В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов, крутящего момента и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции.

СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 не регламентирует проверку железобетонных элементов по предельным состояниям второй группы при действии моментов в двух плоскостях. Поэтому, если заказан режим проверки трещиностойкости (при установленных нормах проектирования СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96), рассматривается только внецентренное сжатие-растяжение с эксцентриситетом в одной плоскости.

Общие параметры

Вид страницы **Общие параметры** зависит от состояния маркера **Площади арматуры** на кнопке **Сопротивление ж/б сечений** главного окна. Если этот маркер не активен, то в качестве исходных данных используется информация о расположении арматурных стержней, и на странице **Общие параметры** (рис. 7.4.1-1) задаются:

- геометрические и расчетные длины элементов;

- случайные эксцентриситеты;
- форма и размеры сечения;
- величина защитного слоя арматуры;
- коэффициенты условий работы арматуры;
- класс продольной арматуры (возможно двухрядное расположение);
- класс поперечной арматуры;
- предельная гибкость.

Маркерами указывается необходимость проверки с учетом второго предельного состояния (**Расчет по трещиностойкости**) и принадлежность сечения статически определимой конструкции.

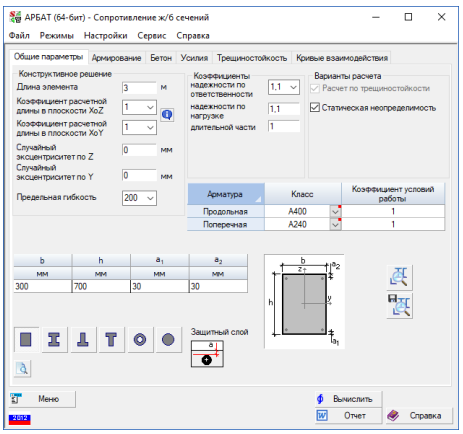


Рис. 7.4.1-1. *Страница* **Общие параметры** (маркер **Площади арматуры** не активен)

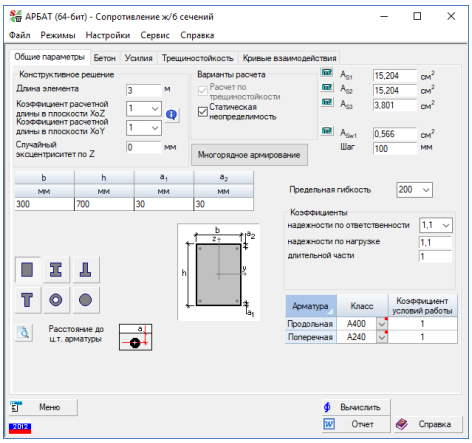


Рис. 7.4.1-2. *Страница* **Общие параметры**(маркер **Площади арматуры** активен)

СП 52-101-2003 и СП 63.13330 дает возможность производить проверку с учетом трещиностойкости при действии моментов в двух плоскостях, поэтому данный маркер для этих норм всегда активирован (рис. 7.4.1-1).

При расчете учитываются заданные коэффициенты надежности по ответственности, надежности по нагрузке и коэффициент длительной части.[3] Заданные на первой странице коэффициент надежности по нагрузке и коэффициент длительной части используются при построении кривых взаимодействия.

Отметим, что значение *коэффициента длительной части* может быть как меньшим 0, так и большим 1. Это видно на следующем примере. Пусть в некоторую комбинацию входит длительное загружение, при котором продольная сила равна 1,0T, и кратковременное загружение, действие которого приводит к продольной силе –0,1T. Тогда комбинация загружений, состоящая из суммы этих двух загружений, дает суммарную продольную силу 0,9T, а длительная часть этой комбинации — 1,0T. Таким образом *коэффициент длительной части* $k = 1,0 / 0,9 = 1,11$. Аналогично, может возникнуть ситуация, при которой $k < 0$.

Опалубочные размеры сечения и величины защитного слоя задаются по правилам, описанным в разделе 7.3.1.

Коэффициенты расчетной длины задаются в соответствии с п. 3.25 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (п. 6.2.18 СП 52-101-2003, п. 8.1.17 СП 63.13330.2012). Кнопка позволяет получить справочные данные по расчетным длинам согласно п. 3.25 СНиП 2.03.01-84* (п. 6.2.18 СП 52-101-2003, п. 8.1.17 СП 63.13330).

Если величина случайного эксцентриситета задана равной нулю, то при расчете будет использоваться значение, вычисленное в соответствии с п. 1.21 СНиП 2.03.01-84* (п. 4.2.6 СП 52-101-2003, пп. 7.1.7, 8.1.7 СП 63.13330). Если задан ненулевой случайный эксцентриситет, то будет использовано бо́льшее из двух значений: 1 см и заданного значения (согласно п. 3.50 Пособия к СНиП 2.03.01-84* и п. 3.6 Пособия к СП 52-101-2003 и пп. 7.1.7, 8.1.7 СП 63.13330).

Для ввода характеристик арматуры и информации о расположении арматурных стержней используется стандартная группа

[3] В п. 1.12* СНиП 2.03.01-84* говорится «...к длительным нагрузкам относится также часть полного значения кратковременных нагрузок...». Количественно в программе АРБАТ эта часть нагрузок учитывается через *коэффициент длительной части*.

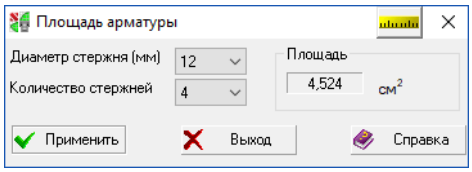


Рис. 7.4.1-3. *Окно калькулятора* **Площадь арматуры**

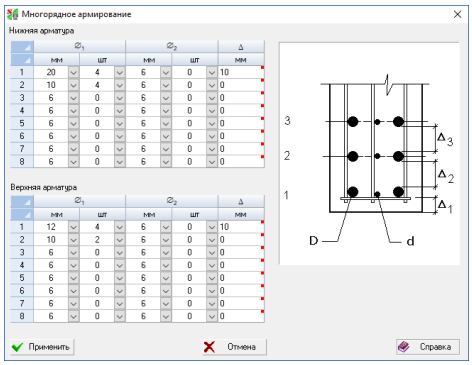


Рис. 7.4.1-4. *Диалоговое окно* **Многорядное армирование**

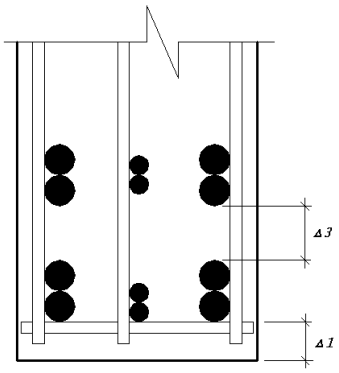


Рис. 7.4.1-5. *Расположение арматурных стержней разного диаметра*

элементов управления и страница **Армирование** (см. раздел 7.3.3).

Если маркер **Площади арматуры**, установленный на кнопке **Сопротивление сечений** в главном окне, активен, то в качестве исходных данных задаются площади продольной и поперечной арматуры (страница **Общие параметры** имеет вид, показанный на рисунке 7.4.1-2). Кроме того, в данном режиме задаются не величины защитного слоя, а **расстояния до центров тяжести** арматурных стержней.

Для вычисления площади арматуры можно воспользоваться калькулятором **Площадь арматуры** (рис. 7.4.1-3). Вызов калькулятора выполняется нажатием кнопок, расположенных слева от соответствующих полей ввода.

Для вычисления площади арматуры с помощью калькулятора следует в верхнем списке выбрать строку с диаметром арматуры, а в нижнем — указать количество стержней. После нажатия кнопки **Применить** калькулятор закроется, а значение площади будет записано в соответствующее поле ввода страницы **Общие параметры**.

Для ввода данных в случае многорядного армирования на странице предусмотрена кнопка **Многорядное армирование**. При нажатии этой кнопки появляется одноименное диалоговое окно, изображенное на рис. 7.4.1-4.

В этом окне определяется расстояние от центра тяжести сечения продольной арматуры до близлежащей грани элемента при многорядном расположении арматуры в сечении конструктивного элемента (балки, колонны). Предусмотрено расположение в одном ряду стержней разного диаметра.

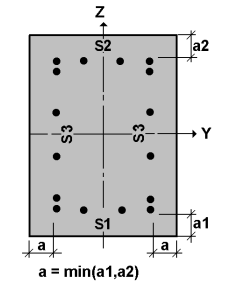
При расположении в первом ряду (ближайшем к грани) стержней разного диаметра стержни с меньшим диаметром смещаются к грани элемента на линию, проведенную по касательной между стержнями с большим диаметром (рис. 7.4.1-5). Арматурные стержни в следующих рядах при разных диаметрах считаются расположенными на одной линии, условно проведенной через их центры.

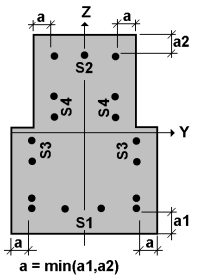
В таблице задается диаметр арматурных стержней и их количество в текущем ряду, а также расстояние в свету от стержней этого ряда до стержней предыдущего ряда. Для стержней первого ряда вместо расстояния в свету задается величина защитного слоя. В случае задания нулевого расстояния между стержнями ($\Delta = 0$) они считаются расположенными вплотную один к другому.

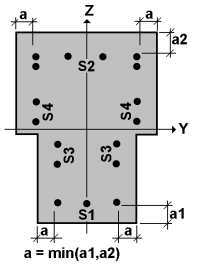
После выхода из окна **Многорядное армирование** по нажатию кнопки **Применить** результаты вычисления записываются в поля **Расстояние до ц.т. арматуры** на странице **Общие параметры**. Для корректировки данных можно повторно зайти в окно **Многорядное армирование**, в котором сохраняется последняя введенная информация.

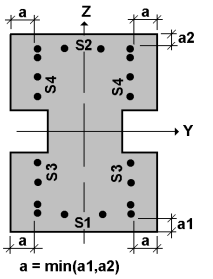
После подготовки исходных данных расчет активизируется нажатием кнопки **Вычислить**.

На рисунках 7.4.1-6–7.4.1-8 приведено принятое в программе размещение продольной и поперечной арматуры и условные обозначения арматуры в сечениях различного вида.









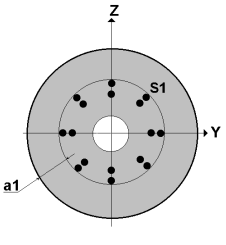
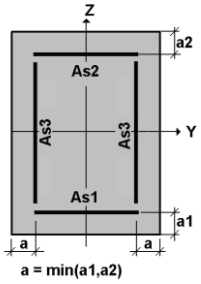
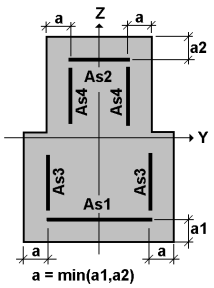
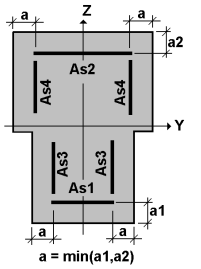
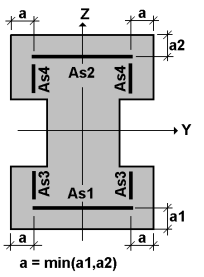


Рис. 7.4.1-6. *Размещение продольной арматуры*









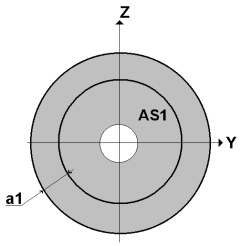
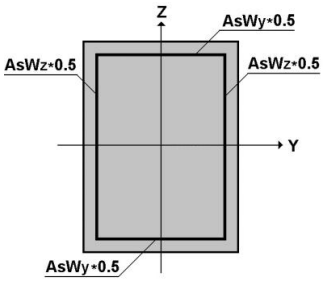
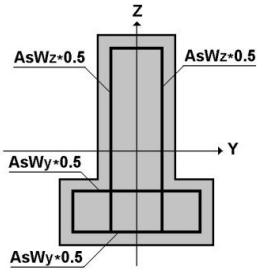
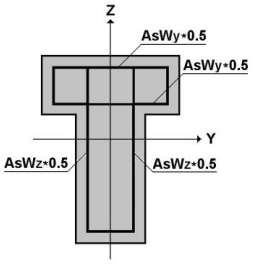
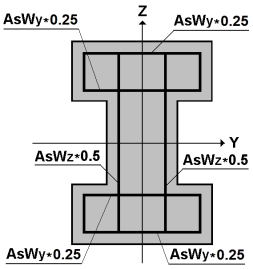


Рис. 7.4.1-7. *Размещение «площадей» продольной арматуры*









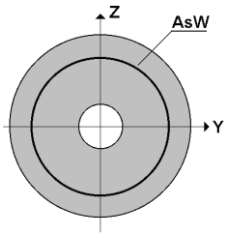


Рис. 7.4.1-8. *Размещение поперечной арматуры при известных площадях поперечного армирования*

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Усилия

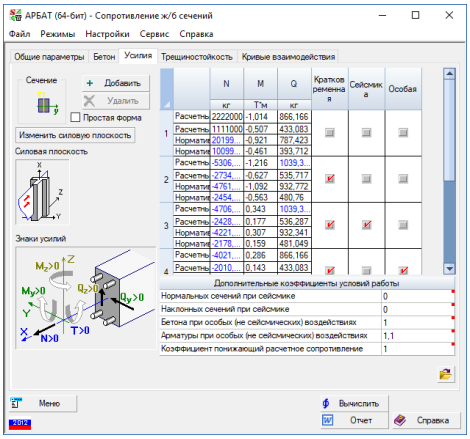


Рис. 7.4.1-9. *Страница* **Усилия**

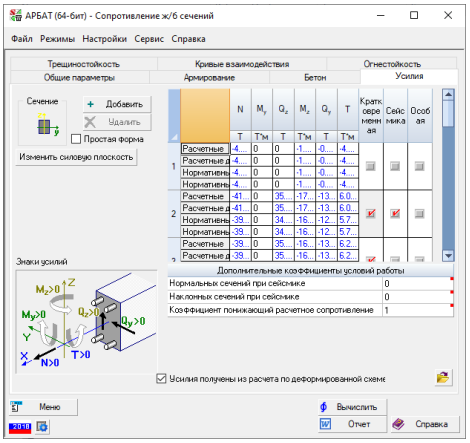


Рис. 7.4.1-10. *Страница* **Усилия** *(простая форма)*

Страница **Усилия** (рис. 7.4.1-9, 7.4.1-10) предназначена для ввода усилий, действующих в поперечном сечении элемента. На ней представлена условная схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции, а также показаны положительные направления усилий. Эта страница содержит таблицу, в которой задаются усилия, действующие в сечении от одного или нескольких загружений.

Таблица может функционировать в расширенном или упрощенном режиме (переключение осуществляется с помощью маркера **Простая форма**). В упрощенном режиме для каждого загружения задаются расчетные значения усилий, коэффициент надежности по нагрузке и коэффициент длительной части. В расширенном режиме для каждого загружения следует задать расчетные, расчетные длительные, нормативные и нормативные длительные значения усилий. Кроме того, каждое загружение с помощью соответствующих маркеров может быть помечено как сейсмическое и/или кратковременное.

Если расчет выполняется по СП 63.13330, то для того или иного загружения можно выставить маркер **Особое** (имеется ввиду особое несейсмическое загружение). При этом в специальной таблице появляется возможность задать коэффициенты условий работы бетона и арматуры (продольной и поперечной) в соответствии с приложением Б к СП 296.1325800.2017 (кроме того, для таких загружений будет использоваться коэффициент надежности по ответственности γ_n=1,0 в соответствии с п. 5.5 СП 296.1325800.2017). Кроме того, может быть учтен дополнительный коэффициент условий работы, понижающий расчетные сопротивления, использование которого оговорено в п. 5.11 и приложении В к СП 296.1325800.2017.

При расчете на действие особых загружений по умолчанию используются нормативные, а не расчетные свойства материалов (см. п. 5.6 СП 296.1325800.2017). Поскольку данный пункт был исключен Изменением № 2 к СП 296.1325800.2017, пользователь может (используя дополнительные настройки) сам выбрать, какие свойства материалов (расчетные или нормативные) использовать.

Отметим, что в нормах нет данных о нормативных значениях величины сопротивления поперечной арматуры. Поэтому при расчете используется величина равная Rswγs, γs=1,15 (коэффициент надежности по арматуре). Аналогично вычисляется нормативное значение сопротивления арматуры сжатию.

При наличии сейсмических воздействий пользователь может также ввести коэффициент снижения граничной относительной высоты сжатой зоны, который оговорен в некоторых нормах проектирования в сейсмических районах (см., например, п. 6.7.2 СП 14.13330). По умолчанию используется значение этого коэффициента, равное 0.85. Тот факт, что пользователь должен/может сам вводить значение этого

коэффициента, связан с тем, что в нормах даны значения этого коэффициента только для некоторых частных случаев (расчетная сейсмичность 7, 8 или 9 балов). Что следует делать в ситуации, когда сейсмичность не выражается целым числом баллов или числом балов больше 9, нормы не указывают.

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** (версии 11) и импортируется нажатием кнопки . При использовании **SCAD** (версии 21) создается файл с расширением **.rsu2**, который импортируется аналогичным образом. Отметим, что если сочетание включает особое (несейсмическое) загружение, то нормативные и нормативные длительные усилия будут автоматически приняты равными нулю, поскольку расчет по второму предельному состоянию в этом случае выполнять не следует.

Поскольку в данном режиме усилия в сечении элемента вводятся на основании статического расчета, выполненного вне программы **Арбат**, то следует указать, на основании какой расчетной модели они (усилия) получены — из расчета по деформированной схеме (нелинейный расчет) или из расчета по первоначальной геометрии (линейный расчет). В случае нелинейного расчета активируется маркер **Усилия получены из расчета по деформированной схеме** и при этом не будут учитываться эффекты второго порядка (влияние продольного изгиба).

В рамках режима **Сопротивление сечений** предусмотрена возможность смены силовой плоскости (кнопка **Изменить силовую плоскость**, нажатие которой приводит к смене M_y на M_z и Q_y на Q_z).

Трещиностойкость

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Кривые взаимодействия

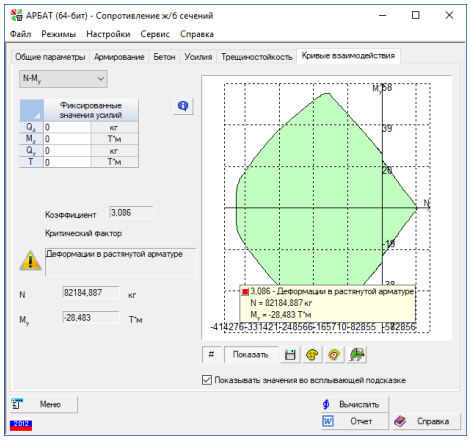


Рис. 7.4.1-11. *Страница* **Кривые взаимодействия**

Результаты расчета отображаются на странице **Кривые взаимодействия** (рис. 7.4.1-11) и представляются в виде кривой, ограничивающей область несущей способности сечения при действии на него выбранной пользователем пары усилий. Пара усилий считается допустимой, если коэффициент использования несущей способности сечения $K_{\max} \le 1$. При этом все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые введены в группе **Фиксированные значения усилий**.

При проверке в соответствии со СНиП 2.03.01-84* при выполнении расчета с учетом трещиностойкости допустимы две пары усилий: N–M_y (продольная сила и изгибающий момент) или N–Q_z (продольная сила и поперечная сила). При этом результаты по последней паре будут отображаться только в случае задания в окне **Общие параметры** диаметра и шага поперечной арматуры.

Если расчет по трещиностойкости не заказан или проверки выполнялись в соответствии с СП 52-101-2003 или СП 63.13330, то допускается построение кривой взаимодействия для следующих пар усилий:

N–M_y; N–M_z; M_y–M_z; N–Q_z; N–Q_y.

С помощью курсора можно проанализировать всю представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений усилий, которая отображается в полях, расположенных слева от графика. Одновременно выводится максимальное значение коэффициента использования, соответствующее этим значениям, и тип проверки, при котором он был реализован.

При нажатой правой кнопке мыши для любого положения курсора в поле отображения кривой взаимодействия можно получить диаграмму факторов для всех выполняемых проверок.

По результатам расчета может быть сформирован отчет (кнопка **Отчет**).

7.4.2 Сопротивление бетонных сечений

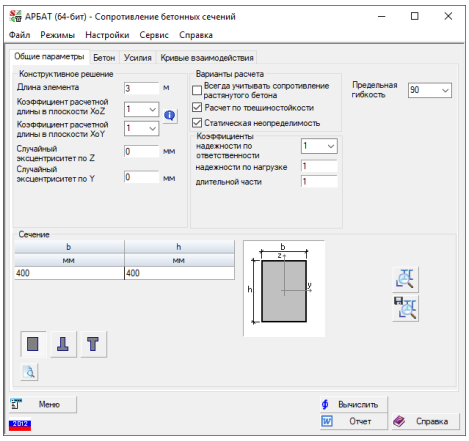


Рис. 7.4.2-1. *Страница* **Общие параметры**

Этот режим аналогичен режиму **Сопротивление железобетонных сечений**. Естественное отличие состоит в том, что не требуется задавать данные об армировании (рис. 7.4.2-1). В текущей версии программы реализован расчет прямоугольного и тавровых сечений.

Кроме того, предусмотрен специальный вид расчета, который активируется маркером **Всегда учитывать сопротивление растянутого бетона**. Смысл использования этого маркера понятен из его названия и формально его применение приводит к нарушению СНиП, которым учет работы бетона на растяжение допускается только в случае чистого изгиба. Но с другой стороны, если буквально следовать указаниям СНиП, возникает парадоксальная ситуация, когда появление даже ничтожно малой продольной силы ведет к отказу от возможности учета работы бетона на растяжение и к скачкообразному уменьшению несущей способности. Мы предоставляем пользователю возможность самостоятельно принять решение о возможности использования ненормативного подхода.

Отметим, что при расчете бетонных сечений нормы требуют использования понижающего коэффициента $\gamma_{b9} = 0{,}9$. Программа **АРБАТ** автоматически не производит умножение соответствующих параметров на коэффициент 0,9. Пользователь должен сам учесть это требование норм при задании на странице **Бетон** величины *Результирующий коэффициент без* γ_{b2}.

7.4.3 Экспертиза балки

Проверяется прочность и трещиностойкость многопролетной неразрезной балки постоянного сечения в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СП 52-101-2003, СП 63.13330). Рассматривается изгиб балки в одной силовой плоскости под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок. Нагрузки объединяются в загружения, которые по физическому происхождению и свойствам могут быть классифицированы как постоянные, временные длительно действующие, кратковременные, ветровые и снеговые. Проверки всех сечений выполняются для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (РСУ). Коэффициенты РСУ, учитывающие характер загружения, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*. Если в качестве норм проектирования выбран СП 16.13330, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.

Предполагается, что балка не испытывает действия продольных сил и учитывается влияние только следующих силовых факторов:

M — изгибающий момент;

Q — поперечная сила.

Расчеты могут быть выполнены для балок прямоугольного, таврового и двутаврового сечений. Указывается конкретная схема расположения арматурных стержней. Число стержней и их диаметр могут быть различными на отдельных участках по длине балки.

Подготовка данных выполняется на страницах **Общие параметры**, **Нагрузки**, **Бетон**, **Трещиностойкость** и **Участки**, анализ результатов — на странице **Результаты экспертизы**.

Общие параметры

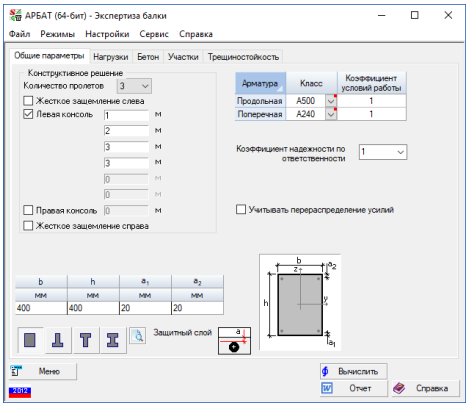


Рис. 7.4.3-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.4.3-1) назначаются количество и длины пролетов, класс и коэффициенты условий работы продольной и поперечной арматуры, вид сечения, вводятся размеры сечения и величины защитного слоя.

Количество пролетов (максимум пять) выбирается из одноименного списка. Наличие консолей или жесткого защемления указывается активацией маркеров. Длины пролетов и консолей задаются в соответствующих полях ввода.

Для назначения геометрических характеристик балки следует выполнить следующие действия:

- в списке **Количество пролетов** установить необходимое количество пролетов (не более пяти, не считая консолей);
- консоли (если они есть) задаются путем активации маркеров **Левая консоль** и/или **Правая консоль**;
- в соответствующих полях вводятся длины пролетов и консолей.

Выбор формы сечения выполняется по правилам, описанным в разделе 7.3.1.

Специальный маркер **Учитывать перераспределение усилий** позволяет установить режим, при котором вычисление эпюр моментов и перерезывающих сил производится с учетом перераспределения усилия. При этом учтена рекомендация (см. [11]) по максимальному уровню перераспределения моментов (сил), равному 30%. Следует отметить, что механизм перераспределения связан с образованием пластических шарниров, то есть неограниченной шириной раскрытия трещин. Поэтому при включенном маркере **Учитывать перераспределение усилий** расчет по трещиностойкости автоматически отключается**.**

Нагрузки

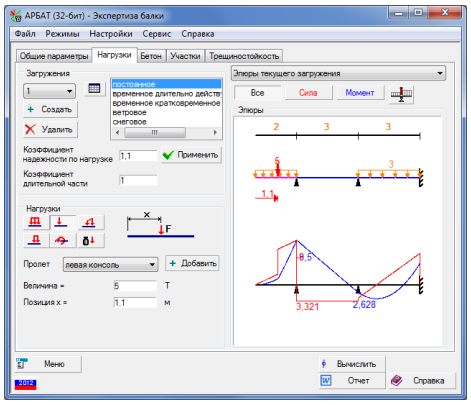


Рис. 7.4.3-2. *Страница* **Нагрузки**

Экспертиза заданного армирования выполняется по РСУ, формируемым на основе нескольких загружений. Ввод загружений выполняется на странице **Нагрузки** (рис. 7.4.3-2) по следующим правилам:

- нажать кнопку **Создать** (загружение);
- выбрать из списка вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, ветровое или снеговое);
- назначить тип нагрузки (нажать кнопку с изображением распределенной или сосредоточенной нагрузки);
- ввести значение расчетной величины нагрузки;
- для снеговых и кратковременных нагрузок задать значение коэффициента длительной части;
- задать значение коэффициента надежности по нагрузке;
- из выпадающего списка **Пролет** выбрать пролет или консоль приложения нагрузки (выбранный пролет отображается красным цветом);
- нажать кнопку **Добавить**;
- выполнить ввод других нагрузок, входящих в текущее загружение.

Кроме того, программа предоставляет возможность задания нагрузки от собственного веса балки (кнопка).

В зависимости от вида нагрузки ее характеристики включают:

- для распределенных нагрузок — интенсивность нагрузки;

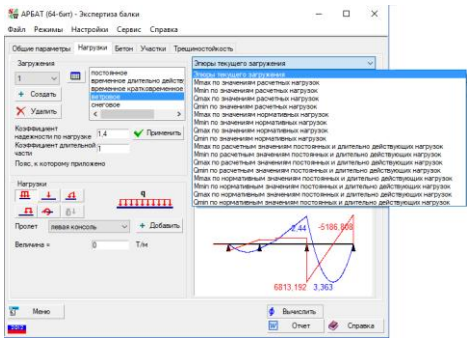


Рис. 7.4.3-3. *Страница* **Нагрузки** с открытым списком сочетаний

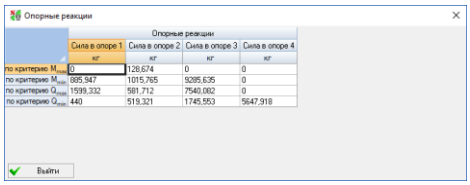


Рис. 7.4.3-4. *Диалоговое окно* **Опорные реакции**

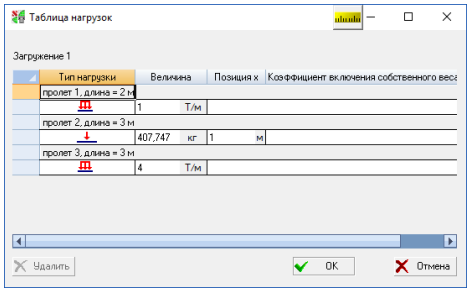


Рис. 7.4.3-5. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

- для распределенной нагрузки на части пролета — интенсивность нагрузки, позицию и ширину приложения;
- для сосредоточенной силы — величину силы и ее положение в пролете;
- для сосредоточенного момента — величину момента и его положение в пролете;
- для трапециевидной нагрузки — величины (в начале и в конце) нагрузки, привязку и ширину приложения.

Для нагрузки от собственного веса какие-либо дополнительные данные не требуются.

До тех пор, пока не будет создано следующее загружение, все введенные нагрузки будут относиться к текущему загружению. Здесь следует отметить, что **Коэффициент длительной части** и **Коэффициент надежности по нагрузке** относятся ко всему загружению, и при вычислении РСУ будет учитываться значение, введенное последним. После смены одного из этих коэффициентов следует нажать кнопку **Применить**.

Удаление текущего загружения выполняется кнопкой **Удалить**.

Для корректировки ранее введенного загружения его номер следует выбрать из списка номеров загружений.

Если в поле **Эпюры** (в списке отображаемых факторов) установлен фактор **Эпюры текущего загружения**, то после ввода каждой новой нагрузки на экране будут показаны схема загружения и эпюры моментов и поперечных сил текущего загружения.

Кнопки **Все**, **Сила** и **Момент** позволяют выбрать режим отображения эпюр, соответственно — отображение эпюры моментов и поперечных сил, только поперечных сил и только изгибающих моментов. Кроме того, нажатие кнопки приводит к отображению расчетных значений опорных реакций (рис. 7.4.3-4).

Кроме эпюр моментов и поперечных сил каждого из рассматриваемых загружений в программе определяются усилия, которые могут возникнуть в каждом сечении балки от комбинации заданных нагрузок. Правила комбинирования соответствуют указаниям СНиП 2.01.07-85*. Список этих комбинаций (рис. 7.4.3-3) располагается в верхней части окна эпюр и включает:

- экстремальные значения моментов и соответствующие им значения поперечных сил;
- экстремальные значения поперечных сил и соответствующие им значения моментов.

Эти комбинации определяются для варианта действия расчетных нагрузок или нормативных нагрузок, а также для действия только постоянных и длительно действующих нагрузок при их расчетных и нормативных значениях.

При движении мыши в области отображения эпюр на экране выводятся значения момента и поперечной силы в конкретном сечении (см. рис. 7.4.3-2), которое соответствует положению курсора.

Если в рамках одного загружения необходимо изменить значение нагрузки или удалить нагрузку, то для этого используется таблица нагрузок (кнопка в группе **Загружения**). В диалоговом окне **Таблица нагрузок** (рис. 7.4.3-5), которое появляется после нажатия этой кнопки, отображаются тип нагрузки, ее

величина и позиция. Изменения, внесенные в параметры нагрузок, фиксируются после выхода из таблицы нажатием кнопки **ОК**.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Трещиностойкость

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Участки балки

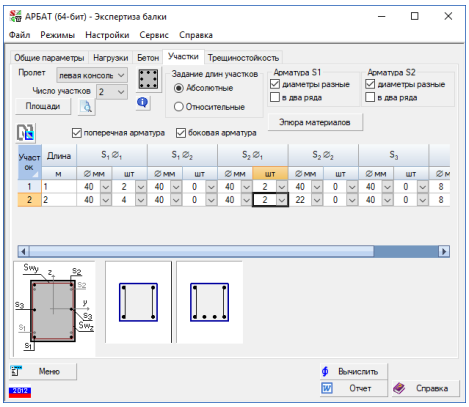


Рис. 7.4.3-6. *Страница* **Участки**

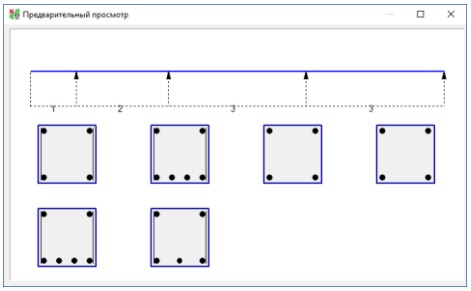


Рис. 7.4.3-7. *Окно* **Схема армирования**

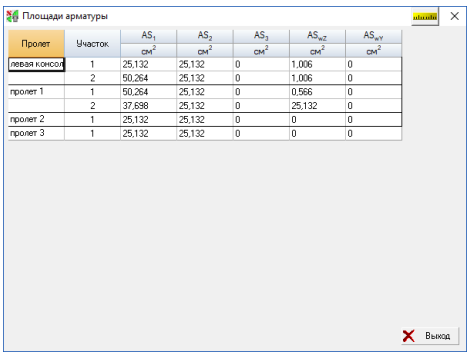


Рис. 7.4.3-8. *Окно* **Площади арматуры**

Для задания армирования балки каждый пролет или консоль разбивается на ряд участков (максимальное количество участков — 5). Считается, что в рамках одного участка армирование одинаковое. При этом каждому пролету или консоли можно назначить свое количество участков. Нумерация участков производится слева направо. Исходные данные по размещению арматуры на участках задаются на странице **Участки** (рис. 7.4.3-6). Информация вводится отдельно для каждого пролета (консоли). Окно включает следующие группы данных:

- **Пролет**, где для каждого пролета или консоли из выпадающего списка выбирается количество участков;
- **Задание длин участков**, где с помощью маркеров назначается способ задания длин:

  Абсолютные — длины участков будут задаваться в единицах длины (единицы измерения длин пролетов назначаются в окне **Настройки приложения**);

  Относительные — длины участков будут задаваться в процентах от длины пролета;
- **Нижняя арматура S_1** — в этой группе с помощью маркеров можно выбрать:

  Диаметры разные — наличие арматуры разного диаметра в одном ряду нижней арматуры;

  В два ряда — установка нижней арматуры в два ряда (разные диаметры допускаются только в первом ряду нижней арматуры). Если активен маркер **в два ряда**, то в поле ввода **Расстояние между рядами** вводится расстояние в свету между рядами арматуры (всегда в мм);
- **Верхняя арматура S_2** — аналогично нижней арматуре;
- маркер **Поперечная арматура** — включенный маркер указывает на наличие на участке поперечной арматуры;
- маркер **Боковая арматура** — включенный маркер указывает на наличие на участке боковой арматуры;
- таблица с параметрами арматуры, в которой для каждого пролета, выбранного из списка **Пролет**, вводятся характеристики армирования. Количество столбцов таблицы зависит от настроек, заданных для текущего пролета, а количество строк — от числа участков, назначенных для этого пролета.

В нижней части окна отображаются данные по размещению арматуры на участках текущего пролета.

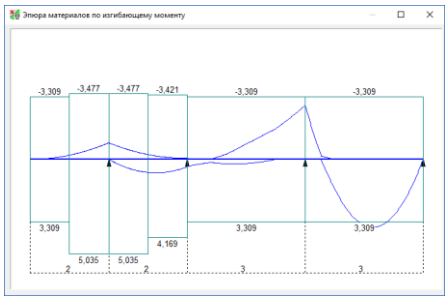


Рис. 7.4.3-9. *Эпюра материалов*

Контроль заданной схемы армирования балки выполняется в окне **Предварительный просмотр** (рис. 7.4.3-7), которое появляется после нажатия кнопки . Справочная информация с примерами армирования балок может быть получена с помощью кнопки .

Для балок прямоугольного сечения с помощью кнопки можно задать “равномерное” армирование (см. раздел 7.3.3).

Кнопка позволяет произвести запись данных о расположении стержней продольной арматуры в формате, который может быть использован для импорта данных в проектирующую программу AllPlan FT фирмы Nemetchek. При нажатии этой кнопки появляется стандартное окно среды Windows с запросом директории и имени файла. После выбора этих данных информация запоминается в файле с расширением .**a**.

Рекомендуется следующий порядок ввода данных на странице **Участки балки**:

- из списка **Пролет** выбрать наименование пролета (консоли), для которого будут вводиться данные;
- в списке **Число участков** установить количество участков для выбранного пролета;
- в группе **Задание длин участков** отметить маркер с выбранным способом задания длины;
- в группах **Нижняя арматура S_1** и **Верхняя арматура S_2** активировать маркеры, определяющие особенности армирования пролета (если арматура расположена в два ряда, то ввести расстояние между рядами);
- активировать маркеры **Поперечная арматура** и/или **Боковая арматура**, если предполагается задание поперечной и/или боковой арматуры;
- заполнить таблицу, назначив длины пролетов, диаметр и количество арматурных стержней;
- повторить приведенные выше операции для других пролетов балки.

После заполнения исходных данных для всех пролетов нажать кнопку **Вычислить**.

Информацию о площадях арматуры **AS_1**, **AS_2**,... можно получить в окне **Площади арматуры** (рис. 7.4.3-8), которое появляется после нажатия кнопки **Площади**.

Кроме того, на данной странице расположена кнопка вызова диалогового окна с отображением эпюры материалов (рис. 7.4.3-9). Построение эпюры производится в предположении, что коэффициент надежности по нагрузке равен 1,1, а коэффициент длительной части равен 1,0.

Результаты экспертизы

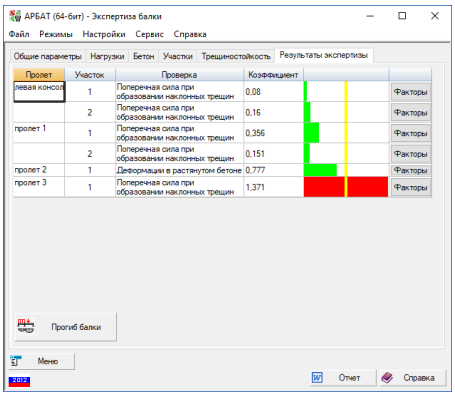


Рис. 7.4.3-10. *Страница* **Результаты экспертизы**

Эта страница (рис. 7.4.3-10) открывается автоматически после активизации режима экспертизы (кнопка **Вычислить**).

Результаты расчета отображаются в таблице. В первом и втором столбцах таблицы приводятся перечни пролетов и участков. Для каждого участка в столбце **Проверка** дано наименование фактора, на котором достигнуто максимальное значение коэффициента использования ограничений, а в столбце **Коэффициент** — его значение. В последнем столбце таблицы приводится графическое отображение коэффициентов, где красными участками отмечены коэффициенты, значения которых превышают единицу.

В окне предусмотрен переход в режим анализа прогибов (по нажатии кнопки **Прогиб балки**), куда автоматически передаются исходные данные. В качестве нагрузки при определении прогибов принимается комбинация загружений, заданных в режимах экспертизы и подбора. Комбинация

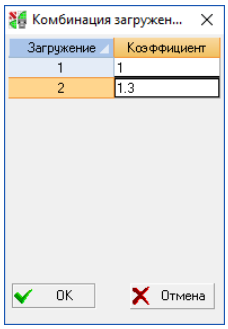


Рис. 7.4.3-11. *Диалоговое окно* **Комбинация загружений**

задается в одноименном окне (рис. 7.4.3-11). По умолчанию все загружения в комбинации, кроме первого, имеют коэффициент, равный нулю.

По результатам расчета может быть получен отчет (кнопка **Отчет**).

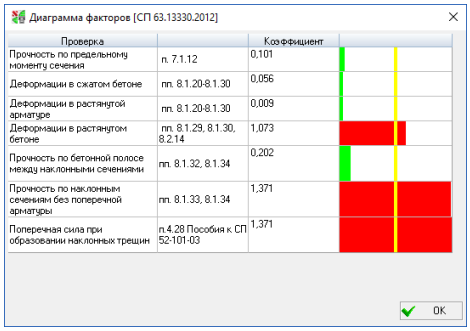


Рис. 7.4.3-12. *Окно* **Диаграмма факторов**

При нажатии кнопки **Факторы** в соответствующей строке таблицы с результатами экспертизы участка появляется окно **Диаграмма факторов** (рис. 7.4.3-12) с детальной информацией обо всех проверках, выполненных для этого участка, и соответствующих им коэффициентах.

7.4.4 Экспертиза однопролетной балки

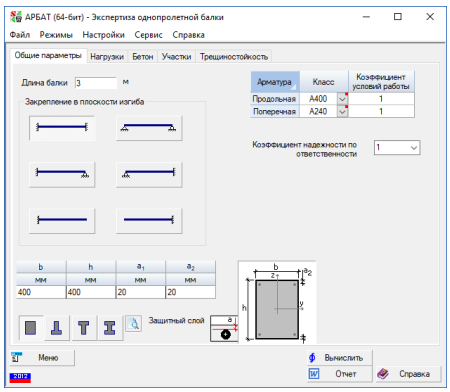


Рис. 7.4.4-1. *Диалоговое окно* **Экспертиза однопролетной балки**

С помощью этого многостраничного окна (рис. 7.4.4-1) реализуется проверка однопролетной балки.

Режим аналогичен режиму **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.4). Отличия состоят в том, что задается только одна длина балки и, кроме того, пользователь должен выбрать систему закреплений балки в плоскости изгиба. Выбор схемы закрепления осуществляется нажатием кнопки с соответствующей схемой. Кроме того, на странице **Нагрузки** не требуется задание пролета, на котором эта нагрузка приложена.

7.4.5 Прогиб балки

В этом режиме вычисляются прогибы при изгибе многопролетной балки под действием заданной нагрузки. Расчет прогибов выполняется для прямоугольного, таврового и двутаврового сечений согласно требованиям п. 4.31 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (п. 7.3.4 СП 52-101-2003, п. 8.2.21 СП 63.13330). Кривизна определяется с учетом трещин в растянутой зоне согласно п. 4.27 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (п. 7.3.7 СП 52-101-2003, п. 8.2.24 СП 63.13330). Исходные данные готовятся на страницах

Общие параметры, **Нагрузки**, **Бетон**, **Условия эксплуатации** и **Участки**, анализ результатов расчета выполняется на странице **Прогибы**, которая появляется после вычисления (кнопка **Вычислить**).

В программе предусмотрен переход из режимов экспертизы и подбора арматуры в многопролетных балках в режим определения прогибов. В этом случае исходные данные, заданные в указанных режимах, будут перенесены автоматически.

Общие параметры

На странице **Общие параметры** назначаются количество и длины пролетов, класс и коэффициенты условий работы продольной и поперечной арматуры, вид сечения, вводятся размеры сечения и величины защитного слоя.

На этой странице нужно также выбрать в выпадающем списке (или ввести) максимально допустимое значение отношения максимального прогиба к длине пролета.

Страница аналогична соответствующей странице режима **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3).

Нагрузки

Определение прогибов выполняется для одного постоянного загружения, в состав которого могут входить сосредоточенные и распределенные нагрузки. Нагрузки вводятся на одноименной странице, работа с которой аналогична работе со страницей **Нагрузки** режима **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3). Отличие состоит только в том, что ввиду нелинейности (учета влияния трещин на кривизну) расчет производится только на действие одного загружения.

Чтобы удалить все нагрузки, используется кнопка **Удалить**.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Условия эксплуатации

Данные об условиях эксплуатации задаются на странице **Условия эксплуатации** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Участки балки

Описание участков балки выполняется на одноименной странице по тем же правилам, что и в режиме **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3).

Прогибы

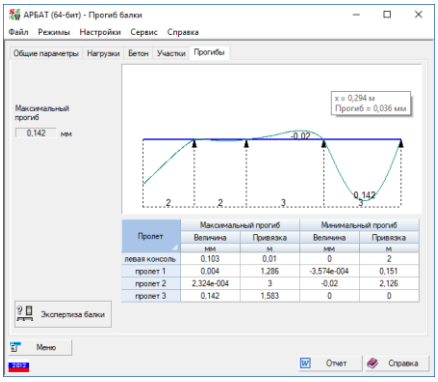


Рис. 7.4.5-1. *Страница* **Прогибы**

Эта страница (рис. 7.4.5-1) открывается автоматически после активизации режима определения прогибов (кнопка **Вычислить**). Результаты расчета отображаются в виде эпюры или в табличном виде (после нажатия кнопки **Таблица**). Значение максимального прогиба указывается в одноименном поле. По результатам расчета может быть получен отчет (кнопка **Отчет**), его создание описано в разделе 2.5.

Если нажать кнопку **Экспертиза балки**, то программа перейдет в режим экспертизы. При этом сохранятся заданные в текущем режиме данные о сечении, арматуре, нагрузках.

СНиП 2.03.01-84* (см. п. 4.32-4.33) содержит четкие рекомендации по учету влияния поперечных сил на прогиб. В других нормативных документах, например, в п. 8.2.21 СП 63.13330, содержится лишь требование учета углов сдвига без конкретных указаний по правилам определения этих углов. В связи с этим, при вычислении прогибов учет сдвига производится по методике СНиП 2.03.01-84*.

7.4.6 Прогиб однопролетной балки

В этом режиме производится определение прогибов однопролетной балки. Режим аналогичен режиму **Прогиб балки** (см. раздел 7.4.5). Особенности задания исходных данных очевидны и определяются различием конструкций однопролетной и многопролетной балок.

7.4.7 Экспертиза колонны

В этом режиме выполняется проверка колонн постоянного сечения по прочности и трещиностойкости. Рассматривается внецентренное сжатие-растяжение с двухосным эксцентриситетом. Проверки всех сечений выполняются для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (РСУ). Коэффициенты РСУ, учитывающие характер загружения, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*. Если в качестве норм проектирования выбран СП 16.13330.2012, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.2011.

СНиП 2-03-01-84*, КМК 2.03.01-96 не оговаривает правила расчета по второму предельному состоянию при двухосном напряженном состоянии. Если в качестве норм проектирования выбран этот нормативный документ, действует следующее ограничение:

при проверке только по первому предельному состоянию учитывается действие следующих силовых факторов:

N — продольная сила;

M_y — момент, изгибающий элемент в плоскости XoZ и вектор которого направлен по оси Y;

M_z — момент, изгибающий элемент в плоскости XoY и вектор которого направлен по оси Z;

Q_z — поперечная сила, направленная вдоль оси Z;

Q_y — поперечная сила, направленная вдоль оси Y;

$M_{кр}$ — крутящий момент, вектор которого направлен по оси X;

при проверке по первому и второму предельным состояниям учитывается действие только таких силовых факторов:

N — продольная сила;

M_y — момент, изгибающий элемент в плоскости XoZ, вектор которого направлен по оси Y;

Q_z — поперечная сила, направленная вдоль оси Z.

Расчеты могут быть выполнены для колонн прямоугольного, таврового, двутаврового, кольцевого и круглого сечений. Предполагается, что положение арматурных стержней в сечении задано и является постоянным по длине участка, при этом пользователь сам назначает количество и длину участков, на которые делится колонна.

Подготовка данных выполняется на страницах **Общие параметры**, **Усилия**, **Бетон**, **Участки** и **Трещиностойкость**, анализ результатов — на странице **Результаты экспертизы**.

Общие параметры

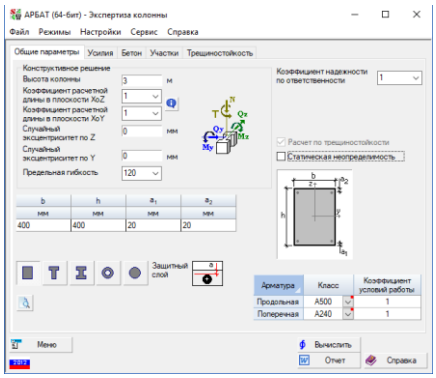


Рис. 7.4.7-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.4.7-1) вводятся высота колонны, коэффициенты расчетной длины, значения случайного эксцентриситета и предельной гибкости. Информация о сечении и классах арматуры задается по правилам, описанным в разделе 7.3.

Кроме того, состояние специального маркера **Расчет по трещиностойкости** определяет необходимость экспертизы колонны по второму предельному состоянию, а маркер **Статическая неопределимость** определяет, принадлежит колонна статически определимой или статически неопределимой конструкции.

Коэффициенты расчетной длины и случайные эксцентриситеты задаются по тем же правилам, что и в режиме **Сопротивление железобетонных сечений** (см. раздел 7.4.1).

Усилия

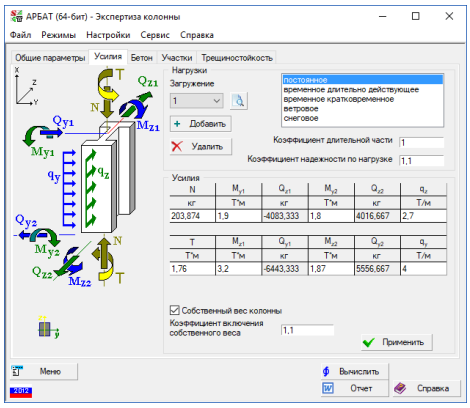


Рис. 7.4.7-2. *Страница* **Усилия**

На странице **Усилия** (рис. 7.4.7-2) задаются расчетные значения усилий в виде продольной силы и узловых моментов в концевых сечениях, описывающих взаимодействие колонны с остальной конструкцией, а также равномерно распределенная поперечная нагрузка по всей длине колонны и крутящий момент. Для этих сил и моментов должны выполняться общие условия равновесия. В частности, поперечные силы Q_1 и Q_2, а также узловые моменты M_1 и M_2 необходимо принимать по результатам расчета системы в целом. Условия равновесия имеют вид:

$$Q_1 - Q_2 + qL = 0,$$
$$M_2 - M_1 - Q_1 L - qL^2/2 = 0.$$

Обратите внимание, что в этом режиме положительная продольная сила соответствует сжатию. В зависимости от того, рассматривается одноосное или двухосное напряженное состояния, можно задать весь набор усилий или только усилия, соответствующие одноосному эксцентриситету.

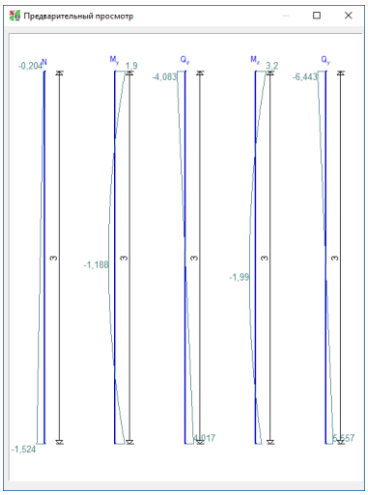


Рис. 7.4.7-3. Эпюры усилий в колонне

Порядок задания усилий для каждого загружения следующий:

- нажать кнопку **Добавить** (загружение), после чего в списке загружений появится его номер;
- в списке видов загружений выбрать вид рассматриваемого загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, ветровое, снеговое). Вид загружения определяет коэффициенты сочетаний по СНиП 2.01.07-85*, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения при вычислении РСУ;
- в полях ввода усилий ввести значения, соответствующие рассматриваемому загружению;
- в поле **Коэффициент длительной части** ввести значение коэффициента для рассматриваемого загружения;
- в поле **Коэффициент надежности по нагрузке** задать значение этого коэффициента;
- нажать кнопку **Применить**.

После выполнения последней операции будут автоматически вычислены значения узловых сил Q_1 и Q_2, обеспечивающие равновесие.

Маркер **Собственный вес колонны** позволяет автоматически добавить к текущему загружению нагрузку от собственного веса колонны.

Кнопка позволяет увидеть эпюры усилий в колонне для текущего загружения (рис. 7.4.7-3).

Удаление текущего загружения выполняется кнопкой **Удалить**.

При корректировке ранее введенного загружения (в режиме корректировки допускается только ввод новых нагрузок или удаление всего загружения) его номер следует выбрать из выпадающего списка номеров загружений. После добавления в загружение новых нагрузок следует нажать кнопку **Применить**.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Участки колонны

Описание участков колонны выполняется на странице **Участки** по тем же правилам, что и в режиме **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3). Отличие только в том, что отсутствует список пролетов и данные задаются сразу для всех участков, количество которых выбирается из списка **Число участков**. Нумерация участков колонны идет снизу вверх.

Конструирование колонны

В программе предусмотрен режим автоматического формирования рабочих чертежей колонн (кнопка **Конструирование колонны**). Чертежи включают спецификацию, ведомость расхода стали и ведомость деталей, а также чертеж каркаса со спецификацией (если армирование производится каркасами).

При конструировании колонны следует учитывать следующие особенности и ограничения реализации:

1. Конструирование производится только в колоннах прямоугольного и кольцевого сечений.
2. Продольная арматура в колонне всегда симметричная, т.е. S_1=S_2, а также постоянная по высоте. При вводе исходных данных достаточно задать только диаметр и шаг арматуры S_1, а S_2 будет учтена программно.
3. Арматура S_1 и S_2 может быть задана только в один ряд (если будет задан второй ряд арматуры, то он будет проигнорирован).
4. В одном ряду (S_1 и S_2) может быть не менее двух стержней.
5. Для поперечной арматуры необходимо задать диаметр и шаг.

Примечание: Так как продольная арматура по всей длине колонны постоянна, то ее можно задавать только на первом участке колонны, а на остальных участках задаются диаметр и шаг поперечной арматуры.

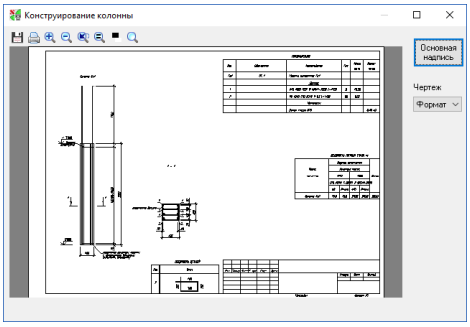


Рис. 7.4.7-4. *Диалоговое окно* **Конструирование колонны**

После инициализации режима конструирования выполняется контроль исходных данных, и в случае отсутствия ошибок вызывается диалоговое окно **Конструирование колонны**, в котором с помощью маркеров выбирается способ армирования — стержнями или каркасами. После выбора и подтверждения нажатием кнопки **ОК** появляется окно **Конструирование колонны** (рис. 7.4.7-4), которое включает инструментальную панель с кнопками управления и поле с чертежом.

В инструментальной панели находятся кнопки, которые позволяют выполнить следующие операции:

— **Исходное изображение**, — **Увеличить изображение** и — **Уменьшить изображение** — эти три операции используются для изменения масштаба изображения при просмотре документов. При увеличении изображения по краям окна появляются полосы прокрутки, с помощью которых можно просмотреть документ. Если на мышке присутствует колесико, то его вращение дублирует операции *Увеличить изображение* (вращение вперед) и *Уменьшить изображение* (вращение назад).

— **Вернуться к предыдущему масштабу** — установить масштаб, который был до использования одной из команд предыдущего пункта;

— **Инвертировать изображение** — сменить тип отображения чертежа (черно-белый на бело-черный и наоборот);

— **Увеличитель** — после нажатия этой кнопки на экране (в нижней части чертежа) появится окно, в котором в увеличенном масштабе будет отображаться часть чертежа, находящаяся в области курсора (рис. 7.4.7-5);

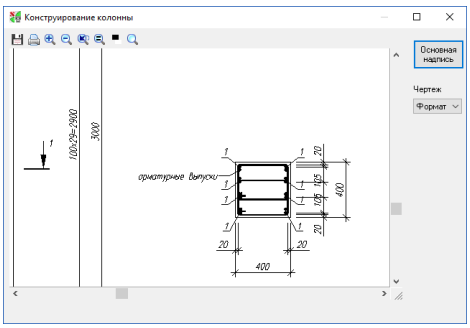


Рис. 7.4.7-5. *Диалоговое окно* **Конструирование колонны** — увеличенное изображение

— **Вывод на печать** — вывод документов на печатающее устройство (получение твердой копии). Появляется стандартное управляющее окно **Print (Печать)**, в котором следует выбрать устройство, на которое будет осуществляться вывод, и, если это необходимо, изменить его свойства;

— **Сохранить** — если необходимо доработать документы прежде чем получить твердую копию, то можно сформировать файлы в формате DXF системы AutoCAD. При этом появляется стандартное диалоговое окно **Сохранить как ... (Save As …)**, в котором можно задать имя и директорию для сохранения чертежа и его формат (DWG или DXF);

Кнопка **Основная надпись** открывает одноименное диалоговое окно, в котором заполняются поля основной надписи формы 3 по ГОСТ 21.1101-2013. (При выводе чертежа каркаса будет дана возможность заполнить основную надпись формы 4.)

Выходные документы могут быть сформированы в форматах А3 или А4. Чертеж каркаса всегда выводится в формате А4. Выбор формата выполняется в выпадающем списке **Чертеж**, который включает следующие пункты:

- *Формат А3* — чертеж колонны с сечениями, спецификацией, ведомостью расхода стали и ведомостью деталей формируется на одном листе в формате А3;
- *Лист 1 (формат А4)* — в формате А4 на первом листе размещается чертеж колонны с сечениями, ведомостью деталей и основной надписью;
- *Лист 2 (формат А4)* — в формате А4 на втором листе размещается спецификация, ведомость расхода стали и основная надпись;
- *Каркас (формат А4)* — если армирование производилось каркасами, то в формате А4 на одном листе будет размещаться чертеж каркаса со спецификацией и основной надписью. Если армирование производилось отдельными стержнями, то эта операция будет недоступна.

Трещиностойкость

При использовании СНиП 2.03.01-84* состояние маркера **Расчет по трещиностойкости** на странице **Общие параметры** определяет необходимость экспертизы армирования колонны по трещиностойкости. При расчете по СП 52-101-2003 и СП 63.13330, этот маркер взведен всегда.

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Результаты экспертизы

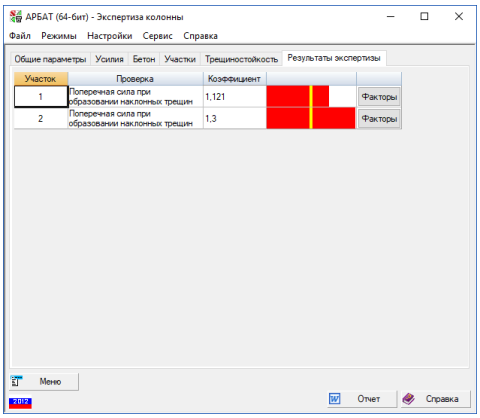


Рис. 7.4.7-6. *Страница* **Результаты экспертизы**

Эта страница (рис. 7.4.7-6) открывается автоматически после активизации режима экспертизы (кнопка **Вычислить**).

Результаты расчета отображаются в таблице. В первом столбце таблицы приводятся номера участков. Для каждого участка в столбце **Проверка** дано наименование фактора, на котором достигнуто максимальное значение коэффициента использования несущей способности, а в столбце **Коэффициент** показано его значение. В последнем столбце таблицы приводится графическое отображение коэффициентов, в котором красными участками диаграммы отмечены значения, превышающие единицу.

По результатам расчета может быть получен отчет (кнопка **Отчет**), его создание описано в разделе 2.5.

Аналогично режиму **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3) кнопки **Факторы** в таблице позволяют получить детальную информацию обо всех проверках, выполненных для каждого участка колонны.

7.4.8 Экспертиза плиты

В этом режиме выполняется экспертиза заданного конструктивного решения прямоугольного поля монолитной сплошной плиты. В зависимости от соотношения длин сторон различаются плиты, изгибаемые в одном направлении, и плиты, изгибаемые в двух направлениях. Поле плиты может быть как самостоятельным конструктивным элементом здания или сооружения (перекрытие прямоугольного проема), так и элементом ребристой плиты. Несущая способность плиты определяется из условий предельного равновесия по методике, приведенной в Пособии к СНиП 2.08.01-85 и Инструкции по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий [6].

При экспертизе плиты предельная равномерно распределенная нагрузка сравнивается с суммарной нагрузкой от заданных загружений.

В программе проверяются:

- несущая способность плиты по изгибающему моменту от суммарной равномерно распределенной нагрузки, в том числе с учетом несущей способности анкеров;
- несущая способность плиты по поперечной силе от суммарной равномерно распределенной нагрузки;
- несущая способность плиты по образованию трещин в пролете плиты и по линиям опирания;
- максимальная ширина раскрытия трещин в пролете и в опорных сечениях плиты;
- максимальный прогиб плиты.

Особенности реализации

- Для плит, изгибаемых в одном направлении, реализованы указания Пособия к СНиП 2.08.01-85 [58] о возможности увеличения на 20% предельных пролетных и опорных изгибающих моментов;
- для плит, изгибаемых в двух направлениях, реализовано указание Инструкции [12] об увеличении на 10% предельной равномерно распределенной нагрузки;
- на восприятие поперечной силы проверяются только сечения вблизи опор;
- проверка образования трещин и ширина их раскрытия выполняются только для сечений нормальных к продольной оси плиты.

Условия опирания плит:

а) для плит, изгибаемых в одном направлении, условия опирания задаются только на двух сторонах. Как минимум, одна сторона плиты должна быть защемлена. Вторая сторона плиты может быть защемлена, шарнирно оперта или свободна от опор. Эта комбинация условий опирания позволяет моделировать крайние и средние пролеты неразрезных «балочных» плит, при этом второй и последующие пролеты неразрезной плиты не различаются. Во всех случаях распределение внутренних усилий принимается, как для второго от края пролета плиты. Кроме того, эти условия опирания позволяют провести экспертизу плиты как отдельного конструктивного элемента во всех практически важных случаях;

б) для плит, изгибаемых в двух направлениях, разрешается защемление сторон плиты и свободное (шарнирное) опирание. При этом допускается, что одна из меньших сторон плиты может быть свободна от опор.

Нагрузки во всех случаях приняты равномерно распределенными по полю плиты.

Плиты проверяются по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СП 52-101-2003, СП 63.13330).

Подготовка данных выполняется на страницах **Общие параметры**, **Нагрузки**, **Бетон** и **Трещиностойкость**.

Общие параметры

На этой странице (рис. 7.4.8-1) вводятся данные, описывающие конструктивное решение плиты, диаметр, класс и шаг арматурных, а также диаметр анкерных стержней (для плит, изгибаемых в двух направлениях), величины нижнего и верхнего защитных слоев, коэффициент условий работы арматуры и допустимую величину прогиба. Анкерные стержни могут устанавливаться только на защемленных сторонах плиты. Класс арматуры анкерных стержней принят такой же, как и для рабочей арматуры. Принято, что анкеры выполнены из одиночных арматурных стержней, установленных в один ряд.

Для выбора конструктивного решения плиты следует с помощью соответствующего маркера указать характер ее

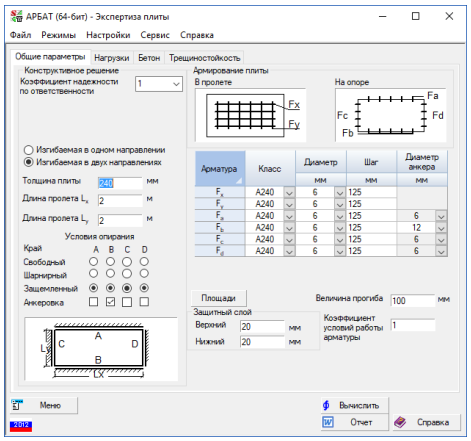


Рис. 7.4.8-1. *Страница* **Общие параметры**

работы (изгибаемая в одном или в двух направлениях), задать толщину плиты и ее размеры вдоль осей X (L_x) и Y (L_y). При соотношении длин сторон меньшем или равном трем (то есть $\frac{L_x}{L_y} \le 3$ или $\frac{L_y}{L_x} \le 3$) плита должна рассматриваться как изгибаемая в двух направлениях. Для плиты с одним свободным краем, изгибаемой в двух направлениях, отношение длины защемленного края к длине свободного края не должно превышать 1.5.

Условия опирания для каждой грани плиты назначаются активацией групп маркеров: **Свободный** (край), **Шарнирный** (край) и **Защемленный** (край), указывающих способ опирания плиты на поддерживающую конструкцию или поля плиты — на поддерживающие ребра. Для защемленных граней с помощью группы маркеров **Анкеровка** указывается наличие анкеров.

В зависимости от заданного конструктивного решения в таблице армирования плиты будут активны соответствующие строки и столбцы.

С помощью кнопки **Площади** можно получить справку о площадях арматуры на погонный метр плиты.

Нагрузки

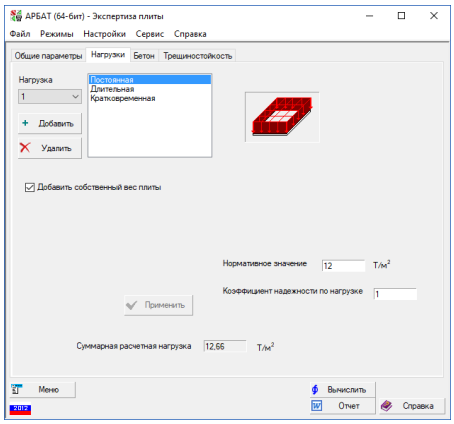


Рис. 7.4.8-2. *Страница* **Нагрузки**

Плита проверяется на действие только равномерно распределенных нагрузок по всему полю. Приведение нагрузок к равномерно распределенным производит пользователь. На этой странице (рис. 7.4.8-2) задаются равномерно распределенные нагрузки. Расчет плиты производится только на одну комбинацию нагрузок. Технология задания нагрузок аналогична описанной в разделе 7.4.7.

На странице расположен маркер **Добавить собственный вес плиты**. Если этот маркер активен, то программа автоматически добавит к числу нагрузок нагрузку от собственного веса.

При задании нагрузок используется упрощенная классификация (постоянная, длительная, кратковременная). При этом считается, что для постоянной и длительной нагрузок кратковременная часть отсутствует, а у кратковременной – нет длительной части.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Ограничения реализации

- Марка бетона — не ниже, чем В12,5;
- мелкозернистые бетоны могут быть только групп А и Б;
- бетон принимается естественной влажности. Водонасыщенность, попеременное водонасыщение и высушивание не учитываются.

Трещиностойкость

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Результаты экспертизы

Результатом экспертизы является значение K_{max} (максимального фактора), которое отображается в нижней части диалогового окна. Полный перечень всех факторов (проверок) можно получить, нажав кнопку **Факторы**. При этом появится окно (см. раздел 1.3) с перечнем всех проверок.

По результатам расчета может быть получен отчет (кнопка **Отчет**).

7.4.9 Экспертиза плиты (по Карпенко)

В этом режиме выполняется экспертиза железобетонных элементов оболочки, плиты и балки-стенки по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 63.13330). Так как в нормах (за исключением СП 63.13330) не оговорена процедура проверки арматуры в двумерных элементах, то в системе **SCAD Office** (включая программу **АРБАТ**) для этого использована методика Н.И. Карпенко [13]. Основные положения этой методики соответствуют общим положениям расчета плоскостных конструкций, приведенным в СНиП.

Данные для экспертизы вводятся на страницах **Общие параметры**, **Напряжения**, **Бетон** и **Трещиностойкость** (страница доступна при активном маркере **Расчет по трещиностойкости**), анализ результатов — на странице **Результаты**.

Страница Общие параметры

На странице **Общие параметры** (рис. 7.4.9-1) задаются следующие данные:

- толщина пластины;
- тип элемента;
- коэффициент надежности по ответственности;
- расстояние до центра тяжести арматуры;
- признак расчета по трещиностойкости;
- класс и коэффициент условий работы продольной арматуры;
- класс и коэффициент условий работы поперечной арматуры;
- параметры армирования.

Тип элемента — рассматриваются элементы типа оболочка, балка-стенка или плита. Для элементов типа плита считаются равными нулю напряжения N_x, N_y, T_{xy}, а для элементов типа балка-стенка — M_x, M_y, M_{xy}.

Коэффициент надежности по ответственности — выбирается из выпадающего списка. В зависимости от выбранных норм по надежности коэффициент надежности по ответственности будет применен либо только к расчетным, либо к расчетным и нормативным величинам усилий/напряжений.

Расстояние до центра тяжести арматуры — может задаваться как двумя, так и четырьмя числами. В первом случае значение $\mathbf{a_1}$ соответствует расстоянию до центра тяжести нижней арматурной сетки, а $\mathbf{a_2}$ — верхней арматурной сетки. Во втором случае $\mathbf{a_1}$ и $\mathbf{a_2}$ задаются для арматуры, расположенной соответственно снизу и сверху вдоль оси X_1, а $\mathbf{a_3}$ и $\mathbf{a_4}$ — для арматуры вдоль оси Y_1.

Признак расчета по трещиностойкости — при активном маркере (установлен по умолчанию) будет выполняться расчет с учетом трещиностойкости.

Арматура — в таблице задаются класс и коэффициент условий работы продольной и поперечной арматуры.

Армирование пластины — в таблице задаются диаметр и шаг продольной и поперечной арматуры в соответствие с приведенными на странице схемами армирования.

а) *б*)

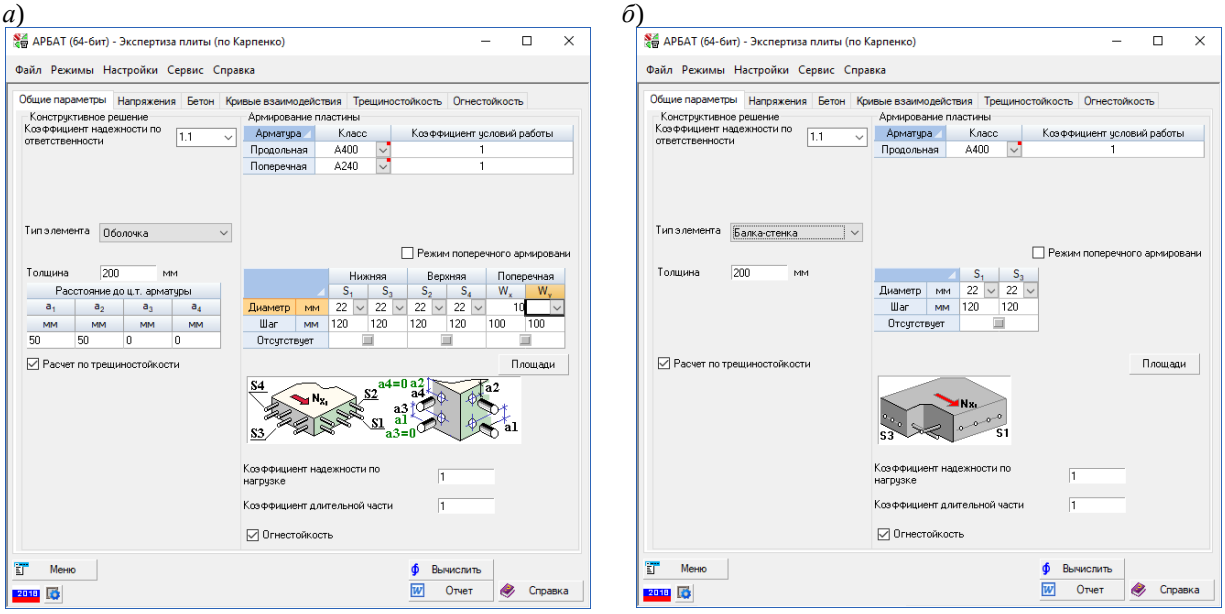


Рис. 7.4.9-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Экспертиза армирования (по Карпенко)**
а) оболочка / плита *б*) балка-стенка

Страница Напряжения

Страница **Напряжения** (рис. 7.4.9-2) предназначена для ввода напряжений, действующих в элементе. Напряжения могут быть заданы пользователем или загружены из файла с расширением **.rsu2** (кнопка) со значениями расчетных сочетаний усилий (РСУ), полученными в результате расчета в комплексе **SCAD**. Файл формируется в режиме **Информация об элементе** в разделе **РСУ** командой **Экспорт**.

Каждый комплект силовых факторов должен содержать расчетные, нормативные и нормативные длительные значения напряжений. Кроме того, с помощью соответствующих маркеров комплект может быть помечен как сейсмический, кратковременный или особый в зависимости от того, какие воздействия вошли в сочетание.

С помощью кнопок **Добавить** и **Удалить** можно добавить новые строки в таблицу или удалить существующие, соответственно.

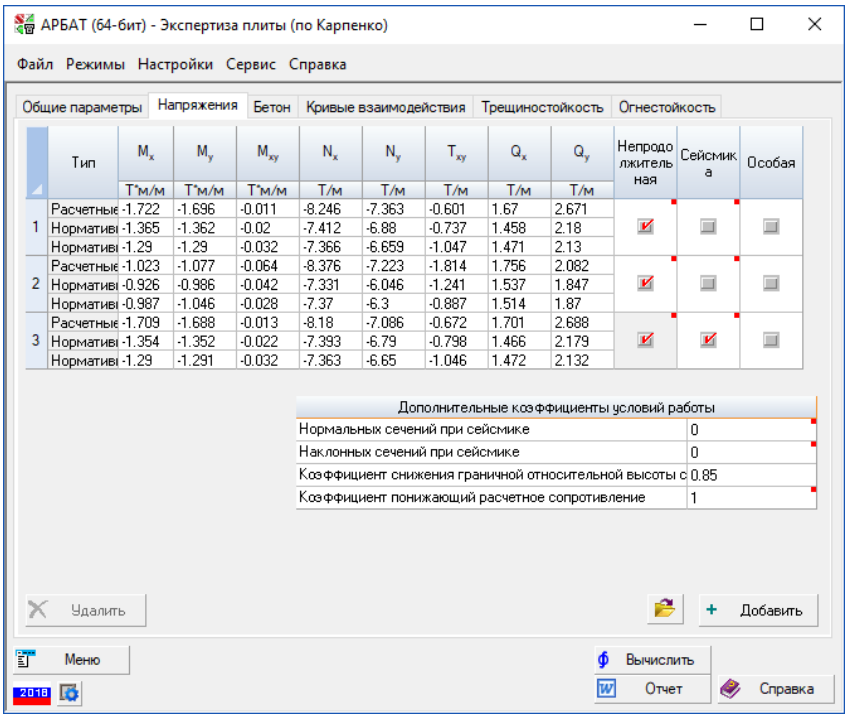


Рис. 7.4.9-2. *Страница* **Напряжения** *диалогового окна* **Экспертиза плиты (по Карпенко)**

Правила знаков при задании напряжений показаны на рис. 7.4.9-3.

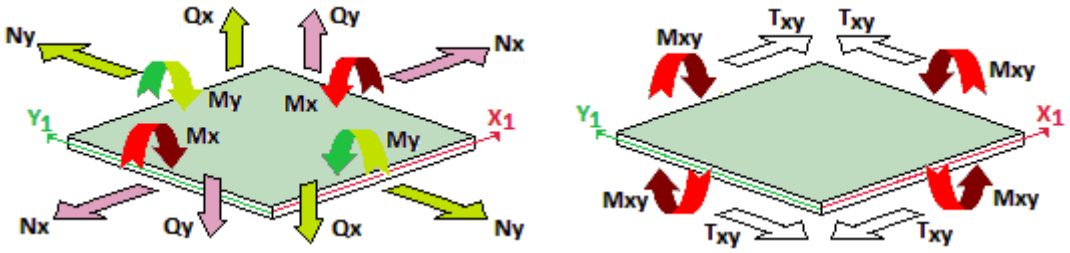


Рис. 7.4.9-3. Правила знаков

Страница Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Страница Трещиностойкость

Эта страница доступна в том случае, когда на странице **Общие данные** активен маркер **Расчет по трещиностойкости**. Данные по трещиностойкости задаются по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Дополнительные настройки

Кнопкой — вызывается одноименное диалоговое окно (рис. 7.4.9-4), в котором определяются правила применения некоторых положений норм, в частности, ограничение максимального расстояния между трещинами (маркер ***Ограничивать расстояние между трещинами величиной min(40 см, 40∅)*** и

правила учета поперечных сил (маркер ***Использовать формулу (8.106) СП 63.13330***). Подробно указанные правила рассматриваются в разделе 7.3.7.

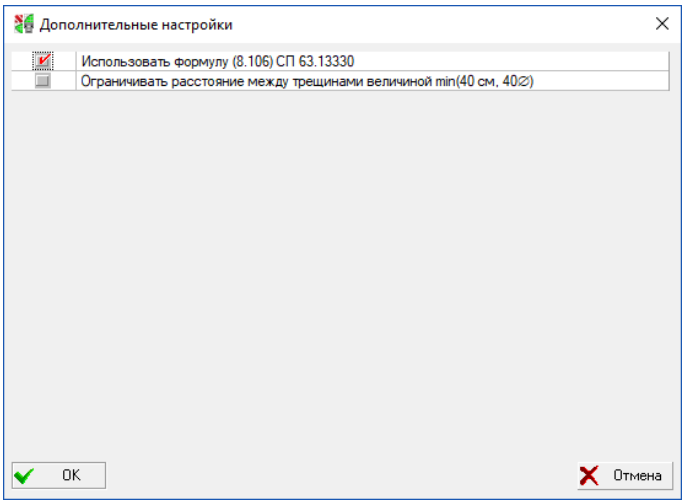


Рис. 7.4.9-4. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

Отображение результатов экспертизы

Проверка активируется нажатием кнопки **Вычислить**. Результаты проверок отображаются в виде диаграммы факторов, которая вызывается нажатием кнопки **Факторы**. В процессе экпертизы в зависимости от типа элемента выполняются проверки прочности сечения пластины, прочность по поперечным силам Q_x, и Q_y, непродолжительной и длительной ширине раскрытия трещин и др.

7.4.10 Предельная нагрузка на плиту

В данном режиме определяется максимально возможная (разрушающая) равномерно распределенная по площади предельная нагрузка на плиту.

В соответствии с теорией [1] предполагается, что плита в стадии предельного равновесия расчленяется на отдельные диски, соединенные между собой по линиям излома линейными пластическими шарнирами. Предполагается, что в предельном состоянии в пластических шарнирах действуют максимально возможные (разрушающие) погонные моменты. По сравнению с ними влияние поперечных сил и крутящих моментов мало, и ими пренебрегают.

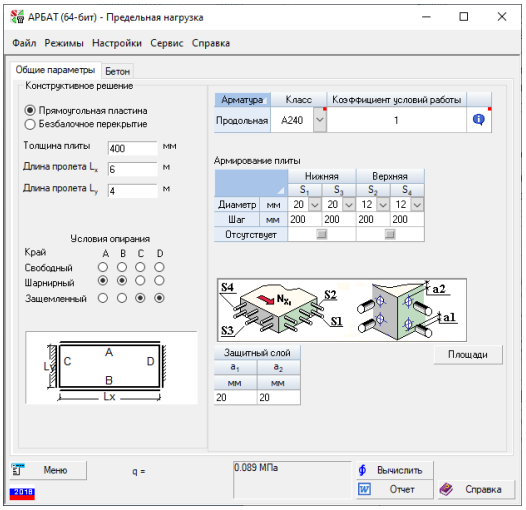
Пластические деформации по линиям излома сопровождаются упругим изгибом элементов плиты. Вследствие малости упругих деформаций по сравнению с пластическими, ими пренебрегают и считают элементы плиты плоскими дисками, а линии излома — прямолинейными шарнирами.

Рассматриваются прямоугольные ячейки железобетонных плит с различными условиями закрепления на контуре и безбалочные перекрытия. Поле плиты может быть как самостоятельным конструктивным элементом здания или сооружения (перекрытие прямоугольного проема), так и элементом ребристой плиты. Результатом расчета является максимально возможная (разрушающая) равномерно распределенная по площади ячейки предельная нагрузка. Расчетные формулы для ее определения получены на основании данных, приведенных в работах [2-5].

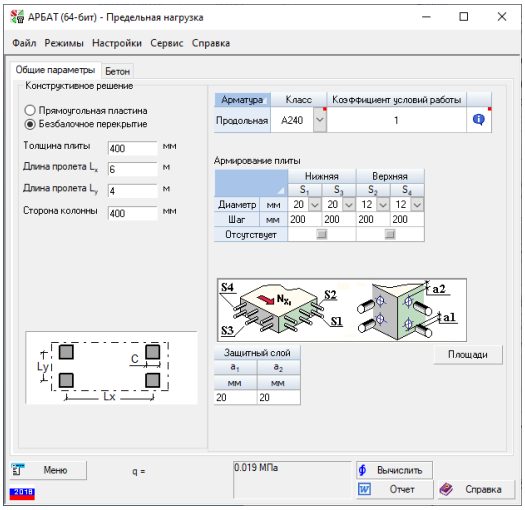
Подготовка данных выполняется на страницах **Общие параметры** и **Бетон**.

Общие параметры

На этой странице (рис. 7.4.10-1) вводятся данные, описывающие конструктивное решение плиты, диаметр, класс и шаг арматурных стержней, величины нижнего и верхнего защитных слоев, коэффициент условий работы арматуры.



Прямоугольная пластина



Безбалочное перекрытие

Рис.7.4.10-1. *Страница* **Общие параметры**

Для выбора конструктивного решения плиты следует с помощью соответствующего маркера выбрать один из вариантов:

- прямоугольная пластина;
- безбалочное перекрытие.

Для прямоугольной плиты задаются размеры L_x,L_y и толщина. В случае безбалочного перекрытия следует задать сторону колонн.

Условия опирания для каждой грани плиты назначаются активацией групп маркеров: **Свободный** (край), **Шарнирный** (край) и **Защемленный** (край), указывающих способ опирания плиты на поддерживающую конструкцию или поля плиты — на поддерживающие ребра.

В зависимости от заданного конструктивного решения в таблице армирования плиты будут активны соответствующие строки и столбцы.

С помощью кнопки **Площади** можно получить справку о площадях арматуры на погонный метр плиты.

Ограничения

Ограничение условий опирания:

- четыре свободных края недопустимы;
- если три края свободны, то четвертый должен быть защемлен.

Ограничение армирования – если указано защемление, то обязательно верхнее армирование

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Результаты

Результатом расчета является значение максимально допустимой равномерно распределенной нагрузки, которое отображается в нижней части диалогового окна.

По результатам расчета может быть получен отчет (кнопка **Отчет**).

7.5 Местная прочность

Все режимы этой группы реализуют экспертизу (проверку) элементов железобетонных конструкций, в том числе и закладных деталей, на местное действие нагрузок в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 с учетом требований и рекомендаций Пособия к СНиП 2.03.01-84* (пособия к СП 52-101-2003), Руководства по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона [10], Руководства по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона [11], Рекомендаций по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций [8].

Предполагается, что известно конструктивное решение как в смысле зоны приложения нагрузки, сопряжения элементов и т. д., так и в смысле дополнительного поперечного армирования, необходимого для обеспечения местной прочности.

Во всех режимах анализа местной прочности предполагается, что имеет место длительное действие нагрузок и расчетные сопротивления бетона умножаются на заданные пользователем значения коэффициента γ_{b2} (при расчетах по СНиП) или γ_{b1} (при расчетах по СП). Для того, чтобы произвести анализ местной прочности при кратковременном действии нагрузок следует при задании данных о бетоне ввести соответствующее значение коэффициента γ_{b2} (γ_{b1}).

Технология работы в режимах этой группы такая же, как в режимах экспертизы.

7.5.1 Местное сжатие (СНиП 2.03.01-84*)

В этом режиме реализуются проверки элементов железобетонных конструкций на местное сжатие в соответствии с требованиями пп. 3.39–3.41 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96. Реализованы все схемы железобетонных элементов, приведенные на чертеже 15 СНиП 2.03.01-84*.

Проверки выполняются на действие продольной силы для элементов как с дополнительным косвенным армированием поперечными сетками, так и без косвенного армирования. В зависимости от наличия косвенного армирования вычисляется один из следующих факторов:

- прочность из условий местного сжатия для неармированного сечения;
- прочность из условий местного сжатия для сечения, армированного сетками.

Общие параметры

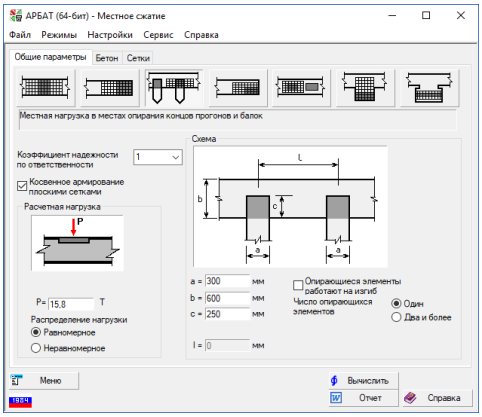


Рис 7.5.1-1. *Страница* **Общие параметры** (СНиП 2.03.01-84*)

На этой странице (рис. 7.5.1-1) задаются:

- схема для расчета на местное сжатие и размеры зоны приложения нагрузки (показана темным прямоугольником на схеме);
- расчетная нагрузка с указанием о том, как она распределена по зоне приложения (равномерно или неравномерно);
- сведения о наличии косвенного армирования.

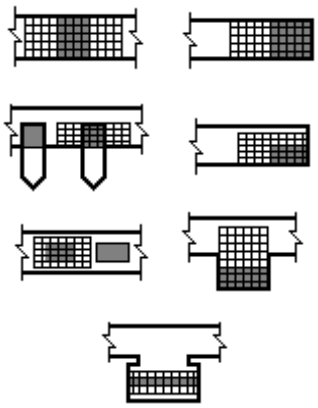


Рис. 7.5.1-2. Схемы нагружения (по СНиП 2.03.01-84*)

Схема нагружения (рис. 7.5.1-2) выбирается указанием курсором на соответствующую пиктограмму и соответствует одной из схем, представленных на чертеже 15 СНиП 2.03.01-84*. Модификации схем нагружения, принятые по чертежу 15, описаны в разделе **Особенности реализации**.

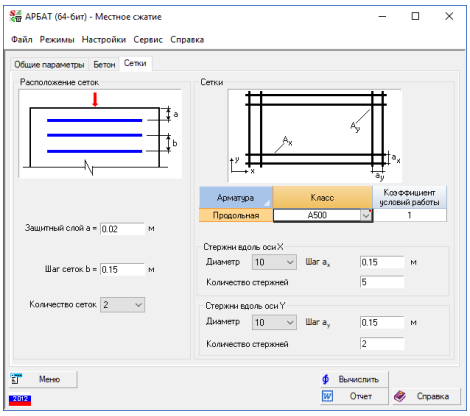


Рис. 7.5.1-3. *Страница* **Сетки**

При включенном маркере **Косвенное армирование плоскими сетками** становится доступной для ввода данных страница **Сетки** (рис. 7.5.1-3).

На этой странице задаются:

- защитный слой бетона;
- шаг сеток по вертикали;
- количество сеток;
- класс арматуры, который принят одинаковым для стержней обоих направлений;
- диаметр, шаг и число стержней, параллельных оси X;
- диаметр, шаг и число стержней, параллельных оси Y.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Особенности реализации

Схемы нагружения *в*) и *г*) чертежа 15 СНиП 2.03.01-84* совмещены на одном изображении.

Схема нагружения *е*) чертежа 15 СНиП 2.03.01-84* модифицирована. В программе предусмотрена возможность указать несколько мест приложения одинаковых нагрузок (см. рис. 57) подобно тому, как это предусмотрено для схем *в*) и *г*). Правила определения локальной площади смятия приняты в этом случае аналогичными схемам *в*) и *г*).

При проверке принятого шага сеток по вертикали и числа сеток использованы формулы (198) и (199) п. 3.94 Пособия к СНиП 2.03.01-84*.

Ограничения реализации

Ограничения реализации связаны со следующими обстоятельствами:

- правомерность выполнения проверки на местное сжатие (зависит от соотношения поперечных размеров проверяемого элемента и размеров зоны приложения нагрузки);
- принятая схема косвенного армирования плоскими сетками;
- конструктивные ограничения на используемые классы и диаметры арматурных стержней, расстояния между стержнями в сетках и сеток между собой и другие ограничения, приведенные в документах [7], [10], [11].

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например для количества сеток, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- количество сеток косвенного армирования — от 2 до 4;
- защитный слой бетона — от 10 до 20 мм;
- расстояние между сетками по вертикали (шаг сеток) — от 60 до 150 мм;
- классы арматуры — Вр-I, A-I, A-II, A-III по СНиП 2.03.01-84* и A400C по ТСН 102-00;
- диаметры арматурных стержней в зависимости от класса — от 3 до 14 мм;
- расстояние между стержнями сеток (шаг стержней) в каждом из направлений — от 50 до 100 мм.

7.5.2 Местное сжатие (СП 52-101-2003, СП 63.13330)

В этом режиме реализуются проверки элементов железобетонных конструкций на местное сжатие в соответствии с требованиями пп. 6.2.43–6.2.45 СП 52-101-2003, пп. 8.1.43-8.1.45 СП 63.13330. Реализованы все схемы железобетонных элементов, приведенные на рис. 6.11 СП 52-101-2003 и рис. 8.9 СП 63.13330.

Общие параметры

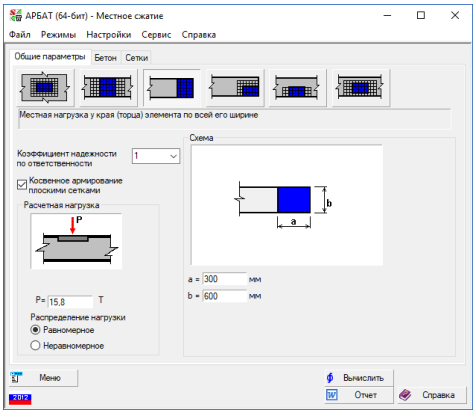


Рис 7.5.2-1. *Страница* **Общие параметры**

На этой странице (рис. 7.5.2-1) задаются:

- схема для расчета на местное сжатие и размеры зоны приложения нагрузки (показана темным прямоугольником на схеме);
- расчетная нагрузка с указанием о том, как она распределена по зоне приложения (равномерно или неравномерно);
- сведения о наличии косвенного армирования.

Проверки выполняются на действие продольной силы для элементов как с дополнительным косвенным армированием поперечными сетками, так и без косвенного армирования. В зависимости от наличия косвенного армирования вычисляется один из следующих факторов:

- прочность из условий местного сжатия для неармированного сечения;
- прочность из условий местного сжатия для сечения, армированного сетками.

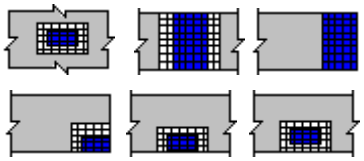


Рис. 7.5.2-2. *Схемы нагружения по* СП 52-101-2003, СП 63.13330

Схема нагружения (рис. 7.5.2-2) выбирается указанием курсором на нужную пиктограмму и соответствует одной из схем, представленных на рис. 6.11 СП 52-101-2003 и рис. 8.9 СП 63.13330.

При включенном маркере **Косвенное армирование плоскими сетками** становится доступной для ввода данных страница **Сетки** (см. рис. 7.5.2-1), структура которой аналогична одноименной странице при расчетах по СНиП 2.03.01-84* (рис. 7.5.1-3).

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Особенности реализации

При проверке принятого шага сеток по вертикали и числа сеток использованы формулы (198) и (199) п. 3.94 Пособия к СНиП 2.03.01-84*.

Ограничения реализации

Ограничения реализации связаны со следующими обстоятельствами:

- правомерность выполнения проверки на местное сжатие (зависит от соотношения поперечных размеров проверяемого элемента и размеров зоны приложения нагрузки);
- принятая схема косвенного армирования плоскими сетками;
- конструктивные ограничения на используемые классы и диаметры арматурных стержней, расстояния между стержнями в сетках и сеток между собой и другие ограничения, приведенные в документах [7], [10], [11].

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например для количества сеток, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- количество сеток косвенного армирования — от 2 до 4;
- защитный слой бетона — от 10 до 20 мм;
- расстояние между сетками по вертикали (шаг сеток) — от 60 до 150 мм;
- классы арматуры — A240, A300, A400, A500, B500, A600C;
- диаметры арматурных стержней в зависимости от класса — от 10 до 14 мм;
- расстояние между стержнями сеток (шаг стержней) в каждом из направлений — от 50 до 100 мм.

7.5.3 Продавливание (СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96)

В этом режиме реализуется проверка на продавливание плитных конструкций (без поперечной арматуры) в соответствии с требованиями п. 3.42 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и п. 3.98 Руководства по проектированию из тяжелого бетона [11]. Проверяются конструкции как с дополнительным косвенным армированием в виде вертикальных стержней, расположенных в пределах пирамиды продавливания, так и без учета косвенного армирования.

В зависимости от наличия косвенного армирования вычисляется один из следующих факторов:

- прочность из условий продавливания без дополнительного армирования;
- прочность из условий продавливания с учетом дополнительного армирования.

Общие параметры

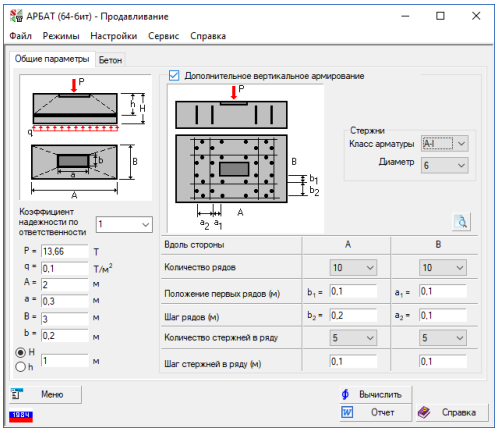


Рис. 7.5.3-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.3-1) задаются:

- размеры основания плиты;
- размеры зоны приложения нагрузки;
- высота плиты (*H*) либо рабочая высота сечения (*h*), где:
- *h* — расстояние от верха плиты до центра тяжести нижней арматуры (выбор осуществляется активацией соответствующего маркера). В случае использования параметра высоты плиты *H* величина *h* принимается равной 0,9*H*;
- равнодействующая продавливающей нагрузки, приведенная к центру зоны приложения;
- равномерная нагрузка (в том числе и нулевая), приложенная к основанию плиты и сопротивляющаяся продавливанию.

При включенном маркере **Дополнительное вертикальное армирование** задаются:

- класс и диаметр вертикальных стержней, образующих сетки, параллельные сторонам плиты;
- количество рядов вертикальных стержней, параллельных сторонам плиты;
- положение первых рядов по отношению к зоне приложения нагрузки;
- количество рядов вертикальных стержней вдоль каждой из сторон основания;
- шаг (расстояние между стержнями в ряду);
- количество стержней в рядах.

Кнопка позволяет получить рисунок расположения арматурных стержней в соответствии с параметрами заданного дополнительного вертикального армирования.

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Особенности реализации

Требование п. 3.42 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 о том, что продавливающая сила действует «на ограниченной площади», реализовано следующим образом — площадь считается «ограниченной», если наклон к горизонту боковых граней пирамиды продавливания не превышает 68°. Это ограничение соответствует требованиям пятого абзаца п. 3.42 СНиП 2.03.01-84*.

Продавливание реализовано только для плитных конструкций. Ступени в плитах (например, фундаментные уступы) не учитываются.

Предполагается, что продавливающая вертикальная нагрузка и нагрузка, приложенная к основанию плиты, равномерно распределены по своим площадям. Эксцентриситеты приложения нагрузок не учитываются.

Не реализован предпоследний абзац п. 3.42 СНиП 2.03.01-84*.

Дополнительное косвенное армирование реализовано только в виде вертикальных сеток с рабочими вертикальными стержнями. Сетки расположены параллельно сторонам плиты, симметрично и не попадают в зону приложения нагрузки. При этом положение сеток, ближайших к зоне приложения нагрузки, таково, что они всегда попадают в призму продавливания.

Реализовано требование п. 5.29 СНиП 2.03.01-84* о зоне установки дополнительной арматуры при расчете на продавливание.

При отсутствии дополнительного армирования программа автоматически применяет коэффициент 0,9 к величине R_{bt} на основании требований пункта 9 таблицы 15 в случае, когда рассматривается только бетонное сечение.

Ограничения реализации

Ограничения реализации связаны с:

- правомерностью выполнения проверки на продавливание, что зависит от соотношения поперечных размеров плиты и размеров зоны приложения нагрузки;
- соотношением продавливающей нагрузки и давления под основанием плиты;
- конструктивными ограничениями на используемые классы и диаметры арматурных стержней, на расстояние между стержнями в сетках и сеток между собой, другими ограничениями, приведенными в документах [7], [10], [11].

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки и соотношениями нагрузок, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например для числа рядов стержней, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- классы арматуры — Bp-I, A-I, A-II, A-III по СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и A400C;
- диаметры арматурных стержней в зависимости от класса — от 3 до 14 мм;
- минимальное расстояние между рядами стержней определяется требованиями п. 5.29 СНиП 2.03.01-84*;
- расстояние первого ряда стержней от зоны приложения нагрузки должно быть не менее 30 мм и не более расстояния между рядами;
- общее количество рядов стержней вдоль каждой из сторон от 2 до 10;
- количество стержней во всех рядах принято одинаковым для рядов вдоль каждой из сторон и должно быть не менее 2 и не более 10.

В процессе выполнения проверки определяется количество рядов и количество стержней в рядах, попадающих в призму продавливания. Если какие-либо ряды стержней или стержни в рядах не попадают в призму продавливания, то об этом выводятся соответствующие сообщения на экран и в отчет.

7.5.4 Продавливание (СП 52-101-2003, СП 63.13330)

В этом режиме реализуется проверка на продавливание плитных конструкций в соответствии с требованиями пп. 6.2.49-6.2.52 СП 52-101-2003, пп. 8.1.46-8.1.51 СП 63.13330. Проверяются как конструкции без дополнительного вертикального армирования, так и конструкции с дополнительным косвенным армированием в виде вертикальных стержней, расположенных по поперечному сечению участка плиты равномерно либо крестообразно. В общем случае расчет выполняется на совместное действие сжимающей силы и изгибающего момента.

Выполняются все проверки, предусмотренные в пп. 6.2.49-6.2.52 СП 52-101-2003 и пп. 8.1.46-8.1.51 СП 63.13330.

Общие параметры

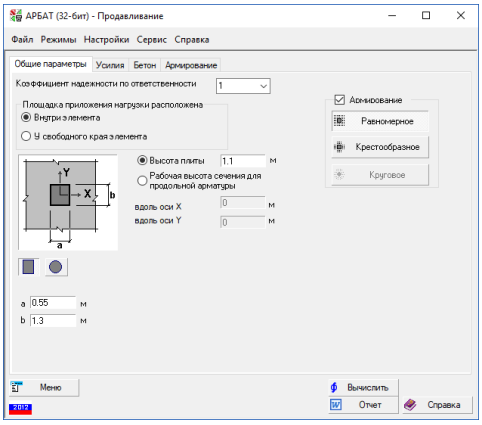


Рис. 7.5.4-1. *Страница* **Общие параметры**

На этой странице (рис. 7.5.4-1) задаются:

- размеры плиты в плане;
- форма площадки приложения нагрузки (прямоугольная или круглая (при использовании СП 63.13330));
- размеры площадки приложения нагрузки и, при необходимости, ее привязки к краям плиты;
- высота плиты (*H*) либо рабочие высоты сечений для продольной арматуры вдоль осей X и Y (выбор осуществляется активацией соответствующего маркера). В случае использования в качестве исходных данных высоты плиты *H* величины рабочих высот сечений усредненно равны 0,9*H*;
- расположение площадки приложения нагрузки — у свободного края плиты (рис. 7.5.4-2) или в ее средней части (рис. 7.5.4-3).

При включенном маркере **Армирование** задается расположение арматуры — равномерное (рис. 7.5.4-5, 7.5.4-6), крестообразное (рис. 7.5.4-7, 7.5.4-8) или круговое (в случае круглой формы площадки приложения нагрузки) (рис. 7.5.4-9, 7.5.4-10).

Расстановка в плане заданных пользователем стержней производится симметрично с заданным шагом от центра тяжести площадки приложения нагрузки (вдоль оси X и Y). Это можно увидеть, нажав кнопку **Предварительный просмотр** на странице **Армирование**.

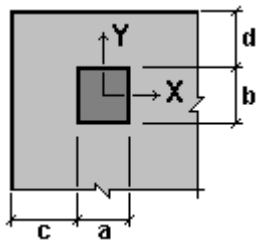


Рис. 7.5.4-2. *Площадка приложения нагрузки у свободного края плиты*

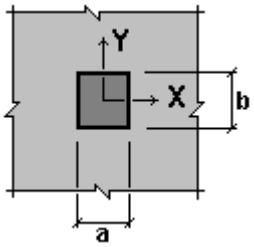


Рис. 7.5.4-3. *Площадка приложения нагрузки в средней части плиты*

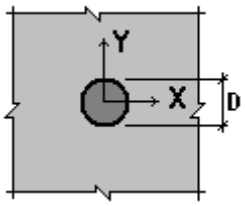


Рис. 7.5.4-4. *Круглая площадка приложения нагрузки*

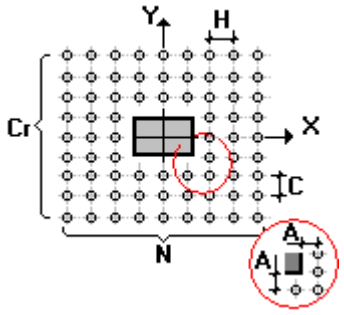


Рис. 7.5.4-5. *Равномерное расположение арматуры*

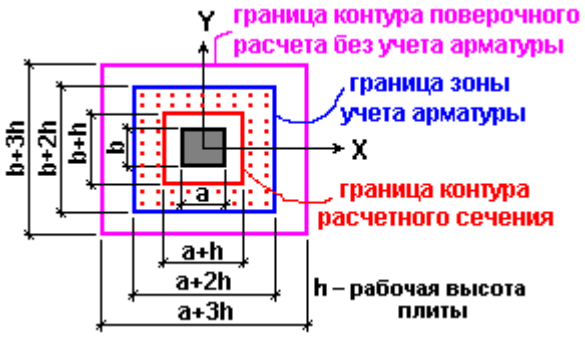


Рис. 7.5.4-6. *Зоны плиты при проверочных расчетах в случае равномерного расположения арматуры*

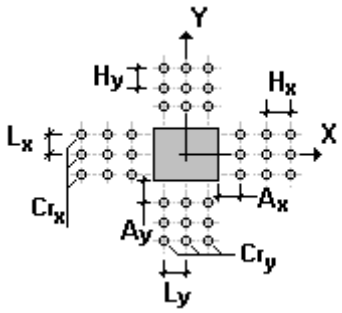


Рис. 7.5.4-7. *Крестообразное расположение арматуры*

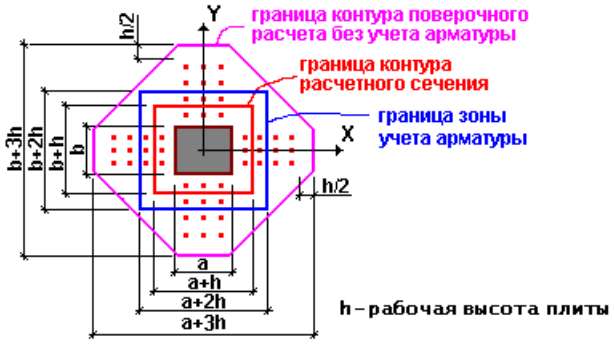


Рис. 7.5.4-8. *Зоны плиты при проверочных расчетах в случае крестообразного расположения арматуры*

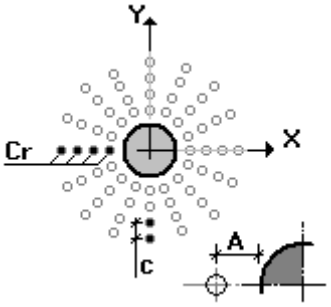


Рис. 7.5.4-9. *Круговое расположение арматуры*

Рис. 7.5.4-10 *Зоны плиты при проверочных расчетах в случае кругового расположения арматуры*

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Усилия

На странице **Усилия** задаются равнодействующие продавливающей нагрузки (продольная сила и изгибающие моменты), приведенные к центру площадки приложения. Правила работы на этой странице аналогичны тем, которые используются на странице **Усилия** режима **Сопротивление Железобетонных Сечений**.

Арматура

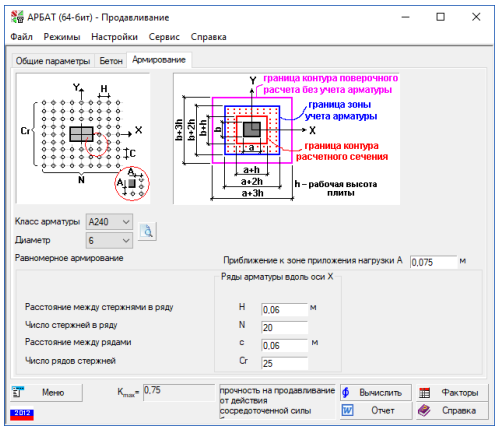


Рис. 7.5.4-11. *Страница* **Армирование**

На странице **Армирование** (рис. 7.5.4-11) задаются:

- класс и диаметр вертикальных стержней, образующих сетки, параллельные сторонам плиты;
- минимальное приближение арматуры к площадке приложения нагрузки;
- число рядов вертикальных стержней, параллельных сторонам плиты;
- шаг (расстояние между стержнями в ряду);
- число стержней в ряду;
- расстояние между рядами стержней.

Особенности реализации

Продавливание реализовано только для плитных конструкций.

Приближения к свободным краям плиты (различные схемы продавливания) учитываются в том случае, когда расстояние от границы области приложения нагрузки до свободного края не превышает 3 рабочих высоты (h_0) продольной арматуры плиты вдоль одной из осей X, Y (свободный край плиты), либо одновременно вдоль обоих осей X, Y (свободный угол плиты). Расчет на продавливание не может быть выполнен в случае, когда свободный край плиты попадает в зону, отстоящую от зоны приложения нагрузки на величину, меньшую половины рабочей высоты плиты.

Косвенное армирование в обоих случаях (равномерном и крестообразном) симметрично относительно осей X, Y.

Поперечная арматура учитывается в расчете в пределах полной пирамиды продавливания с отступом в каждую сторону от границы площадки приложения нагрузки на величину h_0.

При некотором, достаточно большом, удалении поперечных стержней от площади приложения нагрузки их наличие мало влияет на предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании.

Так как в программе не ограничено количество задаваемых арматурных стержней в ряду, то введено ограничение (в запас прочности) принять границу контура поверочного расчета без учета арматуры на расстоянии $0{,}5\,h_0$ не от границы расположения заданной пользователем поперечной арматуры (предпоследний абзац п. 6.2.48 СП 52-101-2003 или п. 8.1.48 СП 63.13330), а от границы зоны, в пределах которой в расчете учитывается поперечная арматура.

Ограничения реализации

Ограничения реализации, связанные с нормативным обеспечением:

- косвенное вертикальное армирование реализуется только в случае, когда площадка приложения нагрузки расположена в средней части плиты;
- в случае расположения площадки приложения нагрузки у края плиты всегда учитывается требование последнего абзаца п. 6.2.49 СП 52-101-2003;
- при реализации последнего абзаца п. 6.2.52 СП 52-101-2003, п. 8.1.52 СП 63.13330 моменты сопротивления поперечной арматуры приняты равными моментам сопротивления бетона;
- конструктивные ограничения на используемые классы и диаметры арматурных стержней, расстояние между стержнями в сетках и сеток между собой, другие ограничения, приведенные в документах [7], [10], [11].

Дополнительное косвенное армирование реализовано только в виде вертикальных сеток с рабочими вертикальными стержнями. Сетки расположены параллельно сторонам плиты и не попадают в зону приложения нагрузки. При этом положение сеток, ближайших к зоне приложения нагрузки, таково, что они всегда попадают в призму продавливания.

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки и соотношениями нагрузок, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например для числа рядов стержней, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- классы арматуры — A240, A300, A400, A500, B500, A600C по СП 52-101-2003 (СП 63.13330);
- диаметры арматурных стержней в зависимости от класса — от 6 до 40 мм;
- расположение арматурных стержней выполняется с учетом требований п. 8.3.15 СП 52-101-2003, п. 10.3.17 СП 63.13330.

7.5.5 Продавливание (EN 1992-1-1)

В этом режиме реализуется проверка на продавливание плитных конструкций в соответствии с требованиями п. 6.4 EN 1992-1-1. Проверяются как конструкции без дополнительного вертикального армирования, так и конструкции с дополнительным косвенным армированием в виде вертикальных стержней, расположенных по поперечному сечению участка плиты равномерно, радиально либо крестообразно. В общем случае расчет выполняется на совместное действие вертикальной поперечной силы и продольных сил.

Выполняются все проверки, предусмотренные в пп. 6.4.3-6.4.5 EN 1992-1-1.

Общие параметры

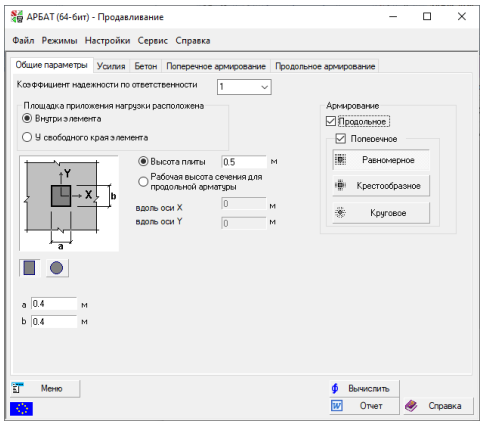
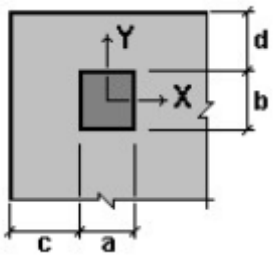


Рис. 7.5.5-1. *Страница* **Общие параметры**

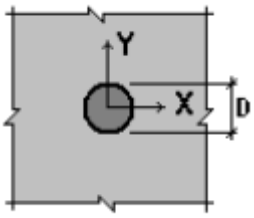
На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.5-1)задаются:

- размеры плиты в плане;
- форма площадки приложения нагрузки (прямоугольная или круглая);
- размеры площадки приложения нагрузки и, при необходимости, ее привязки к краям плиты;
- высота плиты (*H*) либо рабочие высоты сечений для продольной арматуры вдоль осей X и Y (выбор осуществляется активизацией соответствующего маркера). В случае использования в качестве исходных данных высоты плиты *H* величины рабочих высот сечений усредненно равны 0,9*H*;
- расположение площадки приложения нагрузки — у свободного края плиты или в ее средней части.

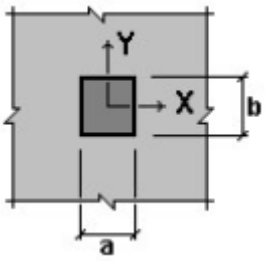
При включенном маркере **Армирование** задается расположение арматуры — равномерное, крестообразное или круговое (в случае круглой формы площадки приложения нагрузки).



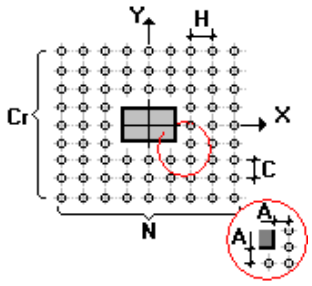
Площадка приложения нагрузки у свободного края плиты



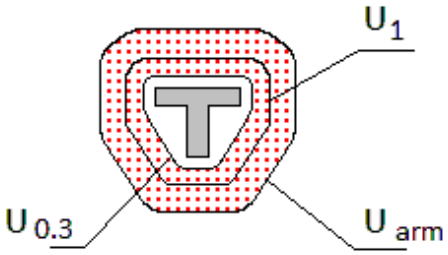
Круглая площадка приложения нагрузки



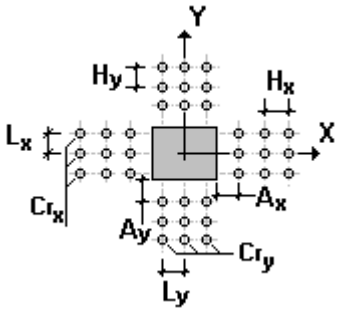
Площадка приложения нагрузки в средней части плиты



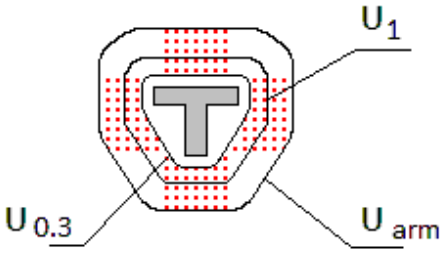
Равномерное расположение арматуры



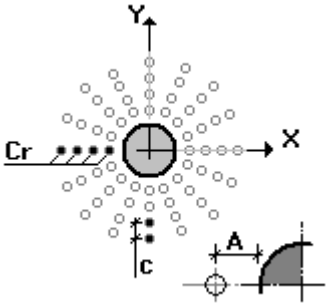
Зоны плиты при проверочных расчетах в случае равномерного расположения арматуры



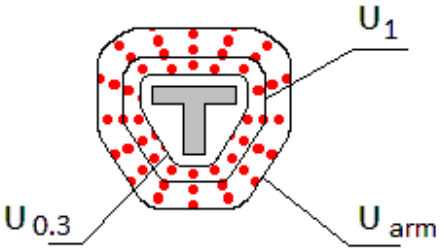
Крестообразное расположение арматуры



Зоны плиты при проверочных расчетах в случае крестообразного расположения арматуры



Круговое расположение арматуры



Зоны плиты при проверочных расчетах в случае кругового расположения арматуры

Расстановка в плане заданных пользователем стержней производится симметрично, с заданным шагом от центра тяжести площадки приложения нагрузки (вдоль оси X и Y). Это можно увидеть, используя кнопку **Предварительный просмотр** на странице **Армирование**.

Бетон

Характеристики бетона задаются на стандартной странице **Бетон**.

Усилия

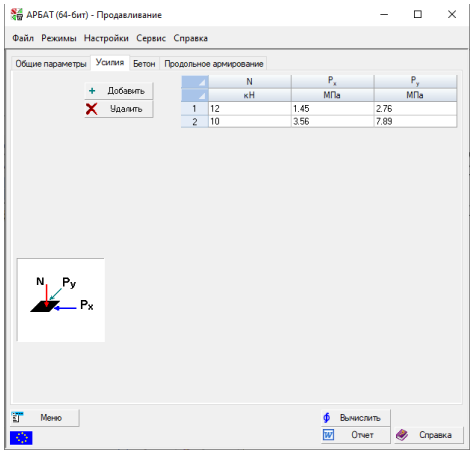


Рис. 7.5.5-2. *Страница* **Усилия**

На странице **Усилия** (рис. 7.5.5-2) задаются продавливающая нагрузка и нормальные напряжения в бетоне в направлениях X и Y. Правила работы на этой странице аналогичны тем, которые используются на странице **Усилия** режима **Сопротивление Железобетонных Сечений**.

Арматура

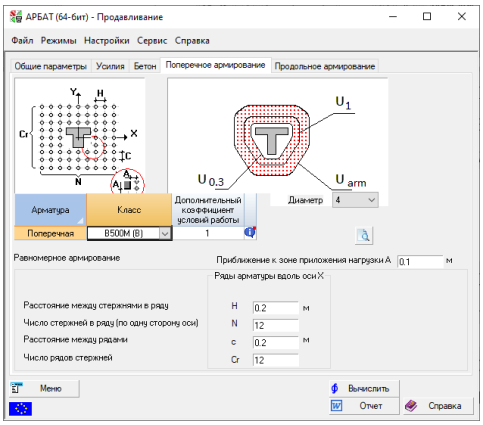


Рис. 7.5.5-3. *Страница* **Поперечное армирование**

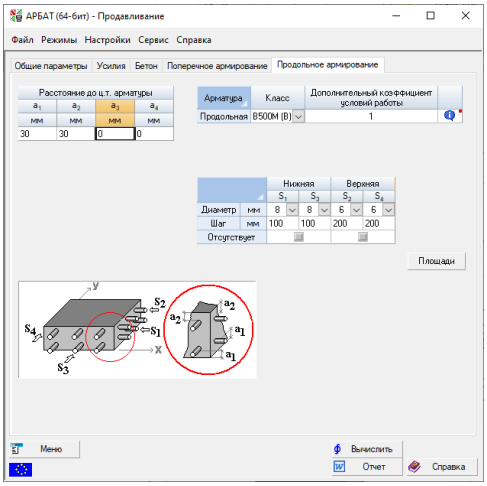


Рис. 7.5.5-4. *Страница* **Продольное армирование**

Для расчета на продавливание нужна информация о продольной и поперечной арматуре в зоне действия нагрузки.

Информация о продольной арматуре в плите нужна для определения приведенного процента продольного армирования плиты вдоль осей X и Y согласно п. 6.4.4.

Информация о поперечной арматуре нужна для опеределения сопротивления сдвига при продавливании согласно п. 6.4.5.

На странице **Поперечное армирование** (рис. 7.5.5-3) задаются:

- класс и диаметр вертикальных стержней, образующих сетки, параллельные сторонам плиты;
- минимальное приближение арматуры к площадке приложения нагрузки;
- число рядов вертикальных стержней, параллельных сторонам плиты;
- шаг (расстояние между стержнями в ряду);
- число стержней в ряду;
- расстояние между рядами стержней.

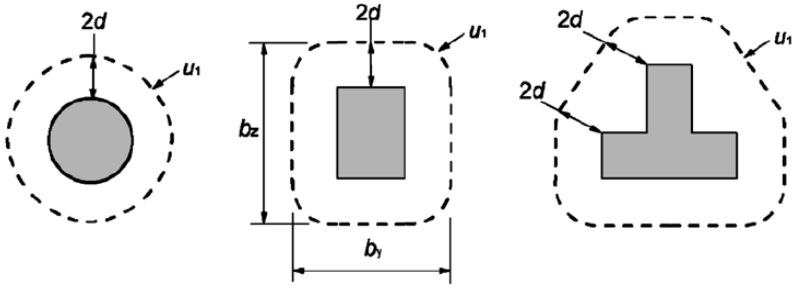
На странице **Продольное армирование** (рис. 7.5.5-4) задаются:

- класс и диаметр продольных стержней (S1, S2, S3, S4), образующих сетки, параллельные верхней и нижней граням плиты;
- расстояния до центра тяжести арматуры.

Особенности реализации

Продавливание реализовано только для плитных конструкций.

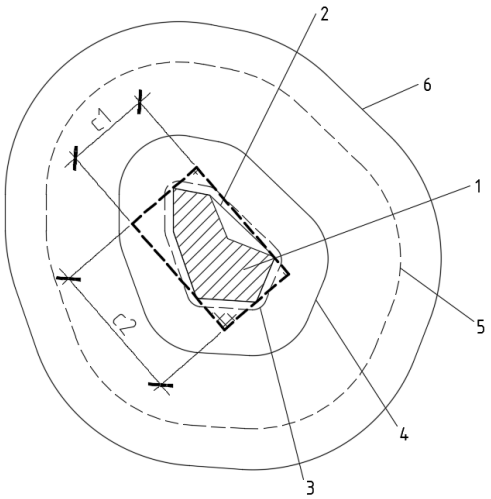
Приближения к свободным краям плиты (различные схемы продавливания) учитываются в том случае, когда расстояние от границы области приложения нагрузки до свободного края не превышает 3 рабочих высоты (d) продольной арматуры плиты вдоль одной из осей X, Y (свободный край плиты), либо одновременно вдоль обоих осей X, Y(свободный угол плиты). Расчет на продавливание не может быть выполнен в случае, когда свободный край плиты попадает в зону, отстоящую от зоны приложения нагрузки на величину, меньшую половины рабочей высоты плиты.



Косвенное армирование в обоих случаях (равномерном и крестообразном) симметрично относительно осей X, Y.

Поперечная арматура учитывается в расчете в пределах полной пирамиды продавливания, с отступом в каждую сторону от границы площадки приложения нагрузки на величину *2d*.

В общем случае строится выпуклая оболочка ***Conv*** площадки нагрузки.



$Conv < u_{03} < u_1 < u_{arm} < u_{out}$ – контуры;

u_0 – длина выпуклой оболочки (для средней колонны) или длина контура условной колонны со сторонами c1 и c2 (для угловой или крайней колонны)

с1 и с2 – стороны минимального описанного прямоугольника со сторонами, параллельными главным осям инерции сечения колонны.

1 – сечение колонны;

2 – выпуклая оболочка сечения колонны ***Conv***;

3 – контур u_{03} на расстоянии $0{,}3d$ от *Conv*;

4 – контур продавливания u_1 на расстоянии $2d$ от *Conv*;

5– контур u_{arm} (эквидистанта) строится внутри контура u_{out} с отступом от него $1{,}5d$;

6 – эквидистанта к выпуклой оболочке *Conv* с длиной, равной u_{out}, вне которой поперечная арматура не рассматривается.

Арматура учитывается в расчете на продавливание с учетом поперечной арматуры в границах ($u_{arm} - u_{03}$).

При некотором, достаточно большом, удалении поперечных стержней от площади приложения нагрузки их наличие мало влияет на предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании.

Так как в программе не ограничено количество задаваемых арматурных стержней в ряду, то введено ограничение (в запас прочности) принять границу контура поверочного расчета без учета арматуры на расстоянии $0{,}3d$ не от границы расположения заданной пользователем поперечной арматуры, а от границы зоны, в пределах которой в расчете учитывается поперечная арматура.

Ограничения реализации

Ограничения реализации, связанные с нормативным обеспечением:

- косвенное вертикальное армирование реализуется только в случае, когда площадка приложения нагрузки расположена в средней части плиты;
- конструктивные ограничения на используемые классы и диаметры арматурных стержней, на расстояние между стержнями в сетках и сеток между собой, другие ограничения.

Дополнительное косвенное армирование реализовано только в виде вертикальных сеток с рабочими вертикальными стержнями. Сетки расположены параллельно сторонам плиты и не попадают в зону приложения нагрузки. При этом положение сеток, ближайших к зоне приложения нагрузки, таково, что они всегда попадают в призму продавливания.

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки и соотношениями нагрузок, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например, для числа рядов стержней, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

7.5.6 Продавливание около торцов и углов стены (СП 63.13330)

В этом режиме реализуется проверка на продавливание плитных конструкций в соответствии с требованиями пп. 8.1.46-8.1.51 СП 63.13330. Проверяются как конструкции без дополнительного

вертикального армирования, так и конструкции с дополнительным косвенным армированием в виде вертикальных стержней, равномерно расположенных по поперечному сечению участка плиты. В общем случае расчет выполняется на совместное действие сжимающей силы и изгибающего момента.

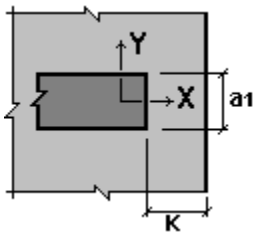
Выполняются все проверки, предусмотренные в пп. 8.1.46-8.1.51 СП 63.13330.

Общие параметры

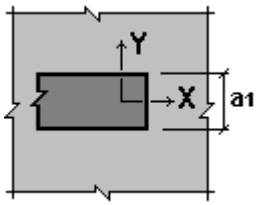
На этой странице задаются:

- размеры плиты в плане;
- форма площадки приложения нагрузки (прямоугольная или Г-образная) (СП 430.1325800);
- размеры площадки приложения нагрузки и, при необходимости, ее привязки к краям плиты;
- высота плиты (*H*), либо рабочие высоты сечений для продольной арматуры вдоль осей X и Y (выбор осуществляется активизацией соответствующего маркера). В случае использования в качестве исходных данных высоты плиты *H* величины рабочих высот сечений усредненно равны 0,9H;
- расположение площадки приложения нагрузки — у свободного края плиты или в ее средней части.

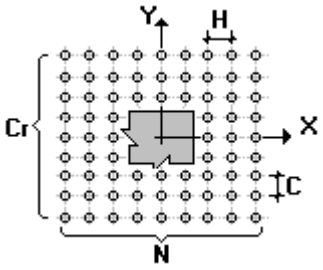
При включенном маркере **Армирование** задается равномерное расположение арматуры.



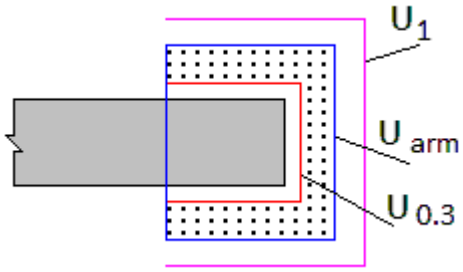
Площадка приложения нагрузки у свободного края плиты



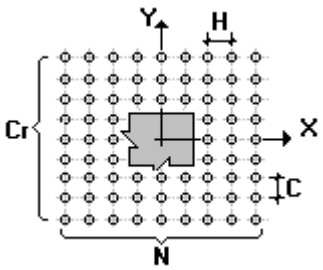
Площадка приложения нагрузки в средней части плиты



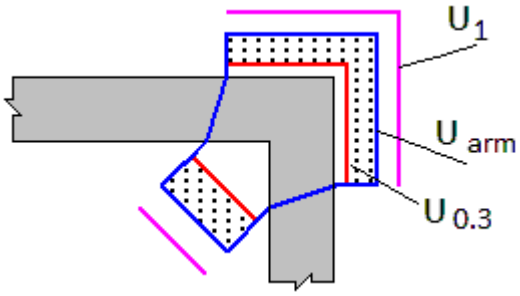
Равномерное расположение арматуры



Зоны плиты при проверочных расчетах в случае равномерного расположения арматуры возле торца стены



Равномерное расположение арматуры



Зоны плиты при проверочных расчетах в случае равномерного расположения арматуры возле угла стены

Расстановка в плане заданных пользователем стержней, производится симметрично с заданным шагом от центра тяжести площадки приложения нагрузки (вдоль оси X и Y). Это можно увидеть, используя кнопку **Предварительный просмотр** на странице **Армирование**.

Бетон

Характеристики бетона задаются на стандартной странице **Бетон**.

Усилия

На этой странице задаются равнодействующие продавливающей нагрузки (продольная сила и изгибающие моменты), приведенные к центру площадки приложения.

Расчет на продавливание около торца стены производят на действие продольной силы P и изгибающего момента Mx, действующего из плоскости стены.

Расчет на продавливание около угла стены производят только на действие продольной силы P без учета момента Mx.

Правила работы на этой странице аналогичны тем, которые используются на странице *Усилия* режима **Сопротивление Железобетонных Сечений.**

Арматура

На странице **Поперечное армирование** задаются:

- класс и диаметр поперечных стержней в плите;
- расстояние между стержнями в ряду;
- число стержней в ряду;
- расстояние между рядами;
- число рядов стержней.

Особенности реализации

Продавливание реализовано только для плитных конструкций.

Приближения к свободным краям плиты (различные схемы продавливания) учитываются в том случае, когда расстояние от границы области приложения нагрузки до свободного края не превышает 3 рабочих высоты (h_0) продольной арматуры плиты вдоль одной из осей X, Y (свободный край плиты), либо одновременно вдоль обоих осей X, Y (свободный угол плиты). Расчет на продавливание не может быть выполнен в случае, когда свободный край плиты попадает в зону, отстоящую от зоны приложения нагрузки на величину, меньшую половины рабочей высоты плиты

Косвенное армирование параллельно осям X, Y.

Поперечная арматура учитывается в расчете в пределах полной пирамиды продавливания, с отступом в каждую сторону от границы площадки приложения нагрузки на величину h_0.

Центр расположения заданной поперечной арматуры находится в центре масс контура продавливания, расположенного на расстоянии 0,5 h_0.

При некотором, достаточно большом, удалении поперечных стержней от площади приложения нагрузки их наличие мало влияет на предельное усилие, воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании.

Так, как в программе не ограничено количество задаваемых арматурных стержней в ряду, то введено ограничение (в запас прочности) принять границу контура поверочного расчета без учета арматуры на расстоянии 0,5h_0 не от границы расположения заданной пользователем поперечной арматуры (п. 8.1.48 СП 63.13330), а от границы зоны, в пределах которой в расчете учитывается поперечная арматура.

Ограничения реализации

Ограничения реализации, связанные с нормативным обеспечением:

- если значение отношения учитываемых в расчете изгибающих моментов к предельным изгибающим моментам превышает значение отношения учитываемых продольных сил к предельному усилию, воспринимаемому бетоном, программа выдает предупреждение (см. п. 6.2.46 СП 52-101-2003, п. 8.1.46 СП 63.13330);
- косвенное вертикальное армирование реализуется только в случае, когда площадка приложения нагрузки расположена в средней части плиты;
- при реализации п. 8.1.52 СП 63.13330 моменты сопротивления поперечной арматуры приняты равными моментам сопротивления бетона;
- конструктивными ограничениями на используемые классы и диаметры арматурных стержней, на расстояние между стержнями в сетках и сеток между собой, другими ограничениями.

Дополнительное косвенное армирование реализовано только в виде вертикальных каркасов с рабочими вертикальными стержнями. Каркасы расположены параллельно сторонам плиты и не попадают в зону приложения нагрузки. При этом положение каркасов, ближайших к зоне приложения нагрузки, таково, что они всегда попадают в призму продавливания.

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверки и соотношениями нагрузок, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например, для числа рядов стержней, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- классы арматуры — А240, А300, А400, А500, В500, А600С по СП 63.13330;
- диаметры арматурных стержней в зависимости от класса — от 6 до 40 мм;
- расположение арматурных стержней выполняется с учетом требований п. 10.3.17 СП 63.13330.

7.5.7 Отрыв

В этом режиме реализуются проверки соединений элементов железобетонных конструкций на отрыв в соответствии с требованиями п. 3.43 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96, п. 3.97 Пособия к СНиП 2.03.01-84* и п. 3.121 Руководства по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона [10].

Принято, что в зоне соединения, проверяемой на отрыв, всегда установлена дополнительная арматура.

В результате проверки вычисляется прочность из условий местного отрыва.

Общие параметры

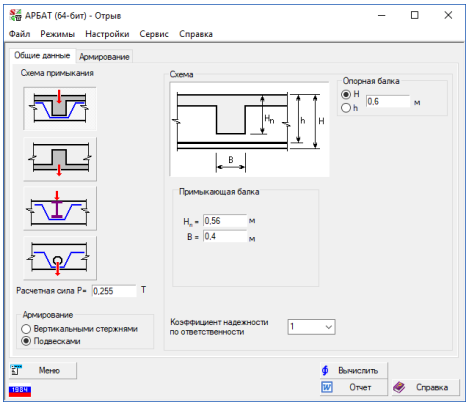


Рис. 7.5.7-1. *Страница* **Общие параметры**

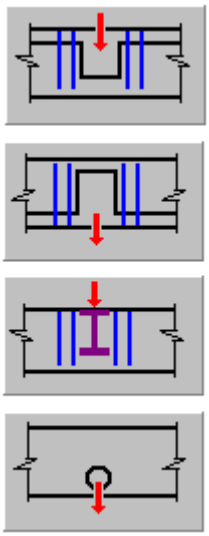


Рис. 7.5.7-2. *Схемы, проверяемые на отрыв*

На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.7-1) выбирается одна из четырех схем, проверяемых на отрыв (рис. 7.5.7-2).

Первая схема — монолитное железобетонное перекрытие с сопряжением балок в верхней зоне.

Вторая схема — монолитное железобетонное перекрытие с сопряжением балок в нижней зоне.

Третья схема — примыкание стальной балки (на схеме условно показан двутавр). Примыкающую балку характеризуют высота и ширина поперечного сечения.

Четвертая схема — приложение сосредоточенной силы, передаваемой путем подвески груза через отверстие в балке.

Выбор армирования зоны отрыва вертикальными стержнями или подвесками осуществляется соответствующими маркерами в группе **Армирование**.

После выбора схемы примыкания необходимо задать:

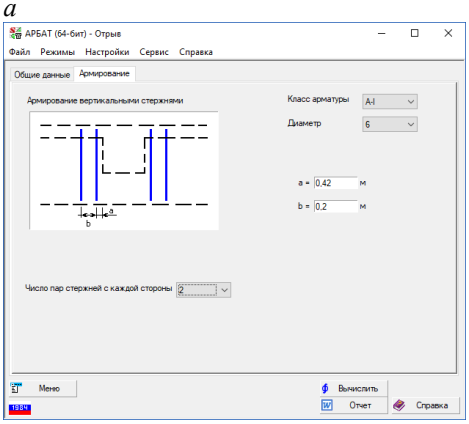
- расчетную нагрузку;
- размеры опорной и примыкающей балок (для схем 1–3) и положение примыкающей балки (для схемы 3);
- размеры опорной балки, положение и диаметр отверстия (для схемы 4).

Во всех проверяемых схемах для опорной балки необходимо задать ее высоту (H) либо рабочую высоту сечения (h), где h — расстояние от верха балки до центра тяжести нижней арматуры (выбор осуществляется соответствующим маркером). В случае использования параметра высоты балки H величина h принимается равной 0,9H.

Предполагается, что нижняя арматура расположена в один ряд по высоте балки.

Армирование

а



б

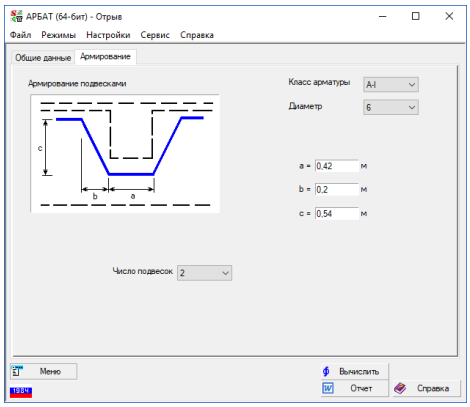


Рис. 7.5.7-3. *Страница* **Армирование**

На этой странице в зависимости от принятой схемы армирования задаются сведения о вертикальных стержнях (рис. 7.5.7-3, *а*) либо о подвесках (рис. 7.5.7-3, *б*).

При армировании вертикальными стержнями задаются:

- класс и диаметр арматуры;
- количество пар стержней с каждой стороны примыкающей балки;
- расстояние от примыкающей балки до первого из стержней;
- расстояние между стержнями.

При армировании подвесками задаются:

- класс и диаметр арматуры;
- количество подвесок;
- размеры подвесок (при проверке четвертой схемы размер горизонтальной части подвески не задается).

Особенности реализации

Существенным является вопрос о передаче нагрузки от примыкающей балки на опорную. Принято следующее:

- при проверке по схемам 1, 2 (сопряжение железобетонных балок) нагрузка передается на уровне центра тяжести сжатой зоны бетона примыкающей балки. По умолчанию принято, что высота сжатой зоны бетона составляет 40% от высоты примыкающей балки (предоставляется возможность изменить высоту сжатой зоны);
- при проверке по схеме 3 (примыкание стальной балки) нагрузка передается равномерно по высоте примыкающей балки;
- при проверке по схеме 4 (подвеска груза через отверстие в балке) нагрузка передается на уровне низа отверстия, при этом ширина площадки передачи нагрузки принята равной половине диаметра отверстия.

Дополнительная арматура (вертикальные стержни, подвески) расставляется симметрично относительно узла сопряжения.

Не реализован последний абзац п. 3.97 Пособия к СНиП [7].

Ограничения реализации

Приняты следующие возможные схемы армирования для конструктивных схем сопряжений:

- армирование вертикальными стержнями возможно для схем 1, 2, 3;
- армирование подвесками возможно для схем 1, 3, 4.

Ограничения, связанные с компоновкой узла сопряжения, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются в большинстве случаев терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например для числа стержней, класса арматуры и др. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- при армировании вертикальными стержнями количество пар стержней с каждой стороны от узла — от 1 до 3;
- при армировании подвесками количество подвесок — от 1 до 3;
- расстояние между вертикальными стержнями — не менее 50 мм;
- классы арматуры — Вр-I, A-I, A-II, A-III по СНиП 2.03.01-84* [71] и А400С по ТСН 102-00 [92]**;**
- диаметры арматурных стержней (в зависимости от класса) — от 3 до 14 мм;

В процессе выполнения проверки определяется число подвесок и стержней, попадающих в зону отрыва. Если какие-либо стержни не попадают в зону отрыва, то об этом выводятся соответствующие сообщения на экран и в отчет.

7.5.8 Закладные детали

В этом режиме реализуются проверки анкеров сварных стальных закладных деталей, состоящих из плоского листа и приваренных к нему нормальных и/или наклонных анкеров. Наружная сторона листа закладной детали расположена в одной плоскости с наружной поверхностью железобетонного элемента.

Проверки выполняются в соответствии с требованиями пп. 3.44–3.46 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и Рекомендаций по проектированию стальных закладных деталей [8] и приложения Б СП 63.13330.

Проверяются три типа анкеров закладных деталей:

- нормальные анкеры, приваренные к пластине втавр;
- нормальные анкеры, приваренные к пластине втавр в сочетании с наклонными анкерами, приваренными к пластине внахлестку;
- наклонные анкеры, приваренные к пластине под флюсом.

Как наклонные, так и нормальные анкеры могут иметь усиления на концах.

Прочность листа закладной детали не проверяется в связи с тем, что не задается конструкция опирающейся на нее поддерживающей детали (столика, ребра и др.). Проверяется только соответствие толщины листа и диаметров анкеров технологическим требованиям по сварке. В листе закладной детали не предусматриваются дополнительные упорные элементы и устройства, служащие для передачи на бетон части поперечной нагрузки.

Для каждого из предусмотренных типов анкеров проверяются:

- прочность наиболее напряженного анкера;
- длина заделки растянутого анкера;
- смятие бетона под усилением наиболее сжатого анкера;

- откалывание бетона под растянутым анкером на краю железобетонного элемента (в случае, если указано расстояние от края закладной детали до края элемента).

Общие параметры

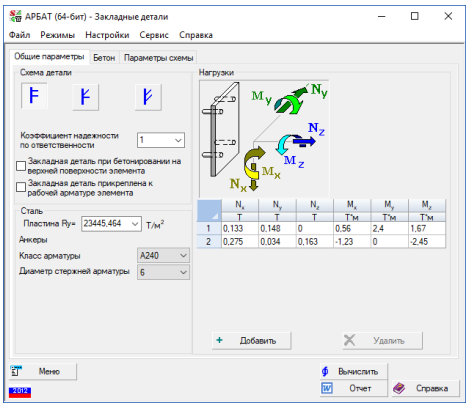


Рис. 7.5.8-1. *Страница* **Общие параметры**

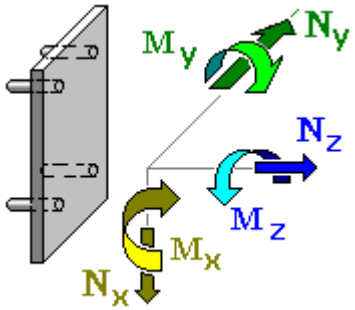


Рис. 7.5.8-2. *Нагрузки на закладные детали*

На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.8-1) задаются:

- тип закладной детали;
- прикрепление анкеров закладной детали к рабочей арматуре элемента (в случае прикрепления будет проверена только прочность анкеров);
- класс стали для пластины закладной детали, класс и диаметр арматуры анкеров (принято, что анкеры одного типа имеют один и тот же диаметр и класс арматуры);
- нагрузки на закладную деталь, приведенные к центру наружной поверхности пластины.

Через закладную деталь первого типа на железобетонный элемент могут быть переданы шесть компонентов усилий — 3 силы, направленные вдоль координатных осей, и 3 момента с векторами вдоль соответствующих координатных осей. Положительные направления сил и векторов моментов показаны на рис. 7.5.8-2.

Через закладную деталь второго и третьего типов на железобетонный элемент могут быть переданы только три компонента усилий, лежащих в плоскости XoZ (рис. 7.5.8-2).

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 6.4.2.

Параметры схемы

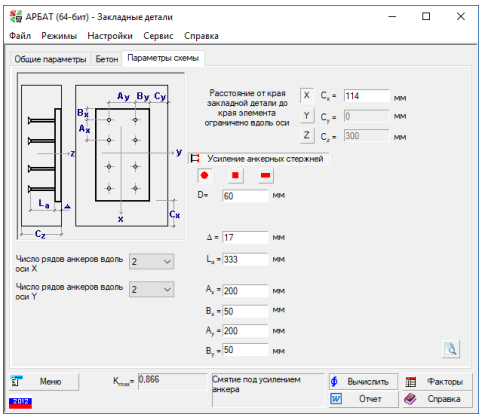


Рис. 7.5.8-3. *Параметры схемы для 1-го типа закладной детали*

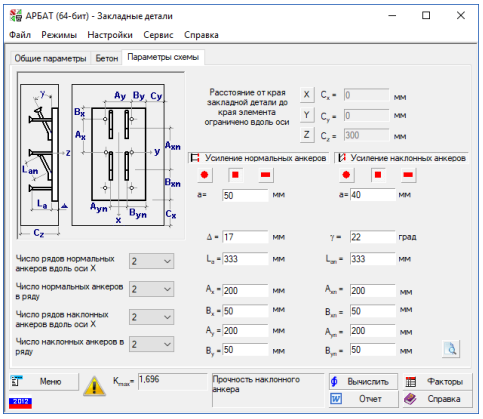


Рис. 7.5.8-4. *Параметры схемы для 2-го типа закладной детали*

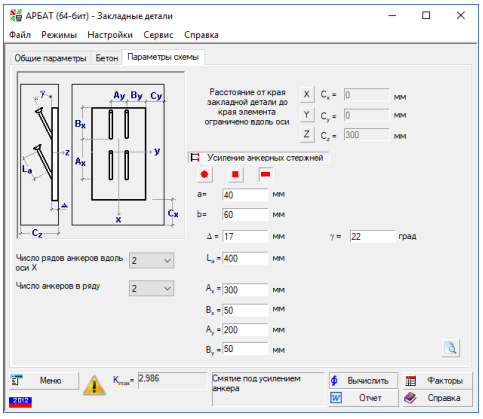


Рис. 7.5.8-5. *Параметры схемы для 3-го типа закладной детали*

На этой странице (рис. 7.5.8-3–7.5.8-5) для каждого типа закладной детали задаются:

- величины расстояний от краев закладной детали до граней железобетонного элемента вдоль координатных осей (в случаях, когда на странице **Общие параметры** было указано, что эти ограничения есть);
- усиления анкерных стержней, его тип (круглые, квадратные или прямоугольные пластины) и размеры;
- толщина пластины закладной детали;
- длины анкеров;
- количество и расположение анкеров на закладной детали;
- угол наклона анкеров (только для закладных деталей типов 2 и 3).

Ограничения реализации

Ограничения реализации связаны с конструктивными ограничениями на используемые классы и диаметры арматурных стержней для анкеров, расстояниями между анкерами, соотношениями толщины пластины и диаметрами анкерных стержней, минимальным количеством анкеров и другими, приведенными в СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и Рекомендациях по проектированию стальных закладных деталей [8].

Ограничения, связанные с правомерностью выполнения проверок, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Ограничения, связанные с некоторыми конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение пользователю указывается на экране и в отчете. Часть этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например класса арматуры. О нарушении остальных ограничений появляются сообщения на экране и в отчете.

Ниже приведены принятые конструктивные ограничения:

- анкерные стержни могут быть из арматуры классов A-I, A-II, A-III, A-IV и A-400;
- диаметры арматуры в зависимости от класса — от 8 до 25 мм;
- ограничения по расстановке арматуры приняты по п. 5.5 Рекомендаций [8]**;**
- количество рядов анкерных стержней — от 1 до 4 в зависимости от типа закладной детали. Количество анкерных стержней в каждом из рядов — также от 1 до 4;
- в плоскости действия изгибающего момента (M_x, M_y) должно быть установлено не менее двух нормальных или наклонных анкеров. Для восприятия крутящего момента (M_z) должно быть установлено не менее двух нормальных анкеров;
- если анкеры выполнены из арматуры класса A-I (A240), то усиления есть всегда.

Особенности реализации

Особенности реализации связаны с допущениями и ограничениями, принятыми при выполнении проверок, которые регламентируются СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и Рекомендациями [8]. Они заключаются в следующем:

- при проверке на смятие бетона под усилением анкера принято, что расчетная площадь бетона всегда существенно больше площади усиления анкера. Коэффициент φ_6 по п. 3.39 СНиП 2.03.01-84* всегда равен 2,5;
- при проверке на смятие бетона под усилением анкера принято, что всегда возможно образование в бетоне трещины, направленной вдоль анкера;
- «в запас» принято, что при проверке длины заделки в бетон растянутого анкера весь анкер находится в растянутой зоне бетона. При этом в формуле (62) Рекомендаций [8] принято, что $\omega_{an} = 0{,}7$ и $\varphi_c = 1$;
- не выполняются проверки продавливания бетона под растянутыми анкерами.
- при наличии усиления анкера считается, что необходимая длина анкеровки стержня не превышает десяти диаметров анкера (см. п. 5.8 Рекомендаций [8]).
- проверка на откалывание бетона производится по краю бетонного элемента, т.е. при наличии «стесненных» условий для образования призмы откалывания анкера (при задании недостаточных величин C_x, C_y). Если эти величины не задаются, то считается, что есть необходимый массив бетона и откалывание не происходит.

7.5.9 Короткие консоли

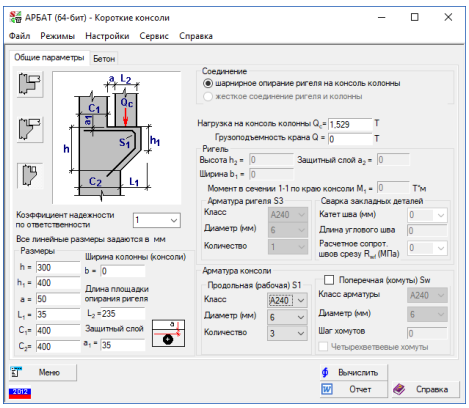


Рис. 7.5.9-1. *Страница* **Общие параметры**

В этом режиме выполняется проверка коротких консолей на действие поперечной силы для обеспечения прочности по наклонной сжатой полосе между грузом и опорой в соответствии с требованиями п. 3.34 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и п. 3.99 Пособия к СниП и приложения Ж СП 63.13330.

Проверка производится после выполнения всех необходимых условий и требований, предъявляемых к коротким консолям. Основным условием является $S_1 \le 0{,}9h_0$, где $h_0=h-a_1$ — рабочая высота опорного сечения консоли, S_1 — расстояние от внутренней грани нижней части колонны до конца площадки опирания балки. Рассматриваются только односторонние консоли трех видов: прямоугольная, с уклоном — опирание ригеля и с уклоном — опирание подкрановой балки. Выбор вида консоли выполняется указанием курсором на соответствующую пиктограмму.

Общие параметры

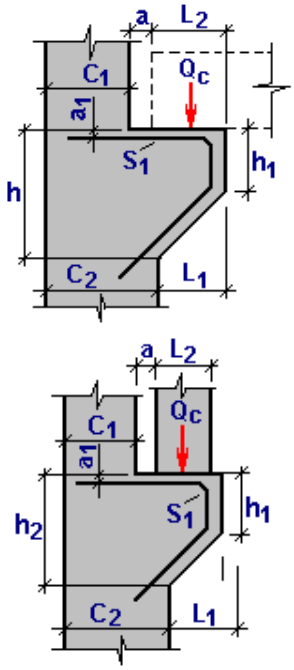


Рис. 7.5.9-2. *Виды коротких консолей*

На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.9-1) задаются:

- вид соединения (рис. 7.5.9-2):
  а) на консоль опирается подкрановая балка;
  б) на консоль опирается балка перекрытия (ригель) ;
- размеры консоли и колонны:
  высота консоли в опорном сечении **h**, высота свободного края консоли $\mathbf{h_1}$, вылет консоли $\mathbf{L_1}$, фактическая длина площадки опирания балки вдоль вылета консоли $\mathbf{L_2}$, расстояние от внутренней грани колонны до боковой грани балки **a**, высота (сечения) верхней части колонны $\mathbf{c_1}$, высота (сечения) нижней части колонны $\mathbf{c_2}$; ширина колонны или консоли **b**, защитный слой продольной арматуры $\mathbf{a_1}$;
- условия соединения ригеля с консолью колонны;
- грузоподъемность крана **Q**, действующего в пролете между колоннами, в случае опирания на консоль подкрановой балки;
- нагрузка $\mathbf{Q_c}$ на консоль от действия груза;
- момент в сечении ригеля по краю консоли при жестком соединении ригеля и колонны;
- класс, количество и диаметр продольной (рабочей) арматуры;
- параметры сварки закладных деталей:
  катет шва, длина углового шва, расчетное сопротивление швов срезу;
- класс, диаметр и шаг поперечной арматуры (хомутов).

Бетон

Страница **Бетон** в основном аналогична описанным в предыдущих режимах, но в этой не задаются условия твердения бетона и вводится коэффициент условий работы бетона γ_{b2}.

Особенности реализации

Рассматриваются консоли, имеющие вуты с произвольным углом наклона. При высоте консоли 100 мм и менее или при вылете $\mathbf{L_1}$ = 100…150 мм ее можно проектировать прямоугольной.

Габариты консолей назначаются исходя из следующих предпосылок: высота консоли h в опорном сечении должна быть не менее 250 мм; высоту свободного края консолей $\mathbf{h_1}$, несущих сборные подкрановые балки, принимают в зависимости от расчетной грузоподъемности крана **Q** по следующим правилам:

$Q \le 5$ т — $h_1 \ge 300$ мм,

$5 \text{ т} < Q < 15$ т — $h_1 \ge 400$ мм,

$Q \ge 15$ т — $h_1 \ge 500$ мм;

должно выполняться условие $h_1 \ge (1/3)h$.

Прочность по наклонной сжатой полосе между грузом и опорой проверяется как при наличии, так и при отсутствии поперечной арматуры.

При опирании на консоль ригеля сила $\mathbf{Q_c}$ прикладывается в центре тяжести треугольника продавливания, то есть на расстоянии 1/3 $\mathbf{L_2}$ от края консоли. При

активации маркера **Фиксированная площадка опирания** сила $\mathbf{Q_c}$ прикладывается на заданном расстоянии $\mathbf{L_q}$ от внутренней грани верхней части колонны. Кроме того, в этом случае пользователь должен задать длину площадки передачи нагрузки $\mathbf{L_{sup}}$. Предполагается, что эта площадка расположена симметрично относительно точки приложения силы $\mathbf{Q_c}$.

Ширина консоли **b** назначается равной ширине колонны. Ширина ригеля $\mathbf{b_1}$ принимается меньшей или равной ширине консоли.

Рассматриваются два случая соединения ригеля и колонны: шарнирное и жесткое с замоноличиванием стыка и привариванием нижней арматуры ригеля к арматуре консоли через закладные детали. Если момент $\mathbf{M_1}$ при жестком соединении растягивает нижнюю грань ригеля, то его нужно вводить со знаком «минус».

Поперечная арматура консолей принимается:

- при $\mathbf{h} \le 2{,}5\mathbf{C}$ — в виде наклонных хомутов по всей высоте консоли;
- при $\mathbf{h} > 2{,}5\mathbf{C}$ — в виде отогнутых стержней и горизонтальных хомутов по всей высоте консоли;

здесь **C** — расстояние от внутренней грани нижней части колонны до точки приложения силы $\mathbf{Q_c}$.

Шаг хомутов принимается (во всех случаях) не более **h**/4 и не более 150 мм.

По умолчанию поперечная арматура консоли реализована в виде двухветвевых хомутов (в расчетные формулы будет входить удвоенная площадь стержня поперечной арматуры, заданная в диалоговом окне).

В случае, когда поперечная арматура реализована в виде четырехветвевых хомутов (при активации одноименного маркера), в расчетные формулы будет входить учетверенная площадь поперечной арматуры.

Во всех случаях, если вылет консоли $\mathbf{L_1}$ меньше длины площадки опирания $\mathbf{L_2}$, учитывается нагрузка на консоль, находящаяся только в пределах вылета консоли.

Производится проверка бетона консоли под площадкой опирания, при этом напряжения смятия в местах передачи нагрузки на консоль не должны превышать $\mathbf{R_{b,\,loc}}$ (п. 3.39 СНиП II-23-81*), в противном случае нужно увеличить класс бетона или площадку передачи нагрузки. При проверке на местное сжатие площадь смятия принимается равной расчетной площади смятия.

При проверке продольной арматуры в случае жесткого соединения ригеля с колонной одно из ограничений для горизонтального усилия $\mathbf{N_s}$ зависит от высоты и длины углового шва приваривания закладных деталей ригеля и консоли. Минимальный катет шва $\mathbf{K_f}$ назначается в соответствии с табл. 38* СНиП II-23-81* в зависимости от вида сварного соединения, вида сварки, предела текучести стали, толщины более толстого из свариваемых элементов и находится в пределах 3–12 мм. Расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва $\mathbf{R_{wf}}$ определяется по табл. 56 СНиП II-23-81* в зависимости от типа электрода (при Э42, Э42А — 180 МПа; Э46, Э46А — 200 МПа; Э50, Э50А — 215 МПа; Э60 — 240 МПа; Э70 — 280 МПа; Э85 — 240 МПа). Длина углового шва приваривания $\mathbf{l_w}$ закладных деталей ригеля и колонны определяется размерами закладных деталей, но не должна превышать двойной длины площадки передачи нагрузки вдоль вылета консоли $2\mathbf{L_2}$ и быть не менее $4\mathbf{K_f}$.

Ограничения реализации

Ограничения, связанные с компоновкой узла сопряжения, являются терминальными и не позволяют при их нарушении выполнить расчет.

Поскольку программа оперирует лишь с классом и диаметром поперечной и продольной арматуры, вся ответственность за конструктивное размещение арматуры в теле консоли, надлежащую анкеровку (п. 5.14 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 и п. 5.45 Пособия [7]) продольной (рабочей) арматуры и вид поперечного армирования (см. рекомендации выше) ложится на пользователя.

Случай применения жесткой арматуры для армирования при ограниченной высоте консоли не рассматривается.

Ограничения, связанные с конструктивными требованиями, не являются терминальными, позволяют выполнить расчет, однако на их нарушение указывается пользователю. Некоторые из этих ограничений реализованы «жестко» путем выбора значений из ограниченного списка, например минимального катета шва, класса арматуры и др.

Арматура

В качестве продольной арматуры и отогнутых стержней консолей следует принимать арматуру класса A-III, допускается принимать класс A-II.

В качестве хомутов и поперечных стержней следует применять арматуру класса A-I.

7.5.10 Шпонки

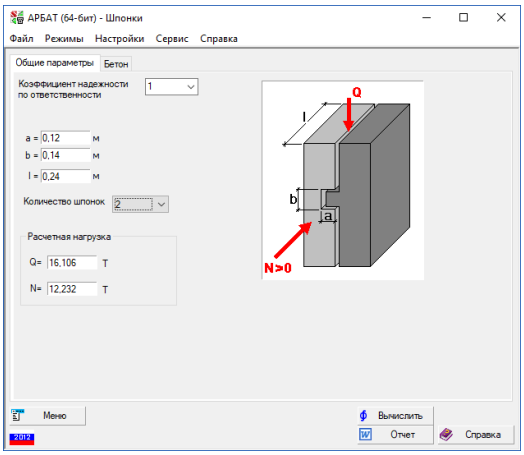


Рис. 7.5.10-1. *Страница* **Общие параметры**

В этом режиме реализуются проверки бетонных шпонок с заданными параметрами при действии сдвигающей и продольной сил. Параметры шпонок (глубина, высота и длина), а также их соотношения не контролируются.

Проверки выполняются в соответствии с требованиями п. 3.115 Пособия к СНиП 2.03.01-84* и п. Е.1 СП 63.13330.

Проверяются прочность бетонной шпонки на сжатие (необходимая глубина шпонки) и на растяжение (необходимая высота шпонки) при постоянной ее длине и заданном классе бетона (рис. 7.5.10-1)

Число шпонок, вводимое в расчет, должно приниматься не больше трех. Однако, в случае действия растягивающей силы допускается учитывать работу пяти шпонок (примечание к п. 3.115 Пособия к СНиП 2.03.01-84* или последний абзац п. Е.1 СП 63.13330).

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

7.5.11 Сдвиг полки тавра (EN 1992-1-1)

В этом режиме производится расчет на сдвиг полки таврового сечения согласно EN 1992-1-1. Рассматривается расчетный участок длиной Δx, на концах которого действуют продольные силы N_1, N_2 и изгибающие моменты M_1, M_2. Усилия на концах участка должны быть такими, чтобы с обоих концов полка тавра была или одновременна сжата или одновременно растянута. Напряженное состояние в сечении определяется на основании нелинейной деформационной модели (при двухлинейных диаграммах работы бетона и арматуры) без учета работы растянутого бетона. Производятся проверки, предусмотренные п. 6.2.4 EN 1992-1-1.

Исходные данные задаются в многостраничном диалоговом окне.

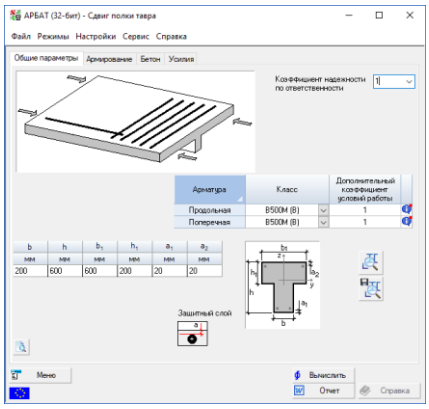


Рис. 7.5.11-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.11-2) задаются размеры таврового сечения, классы продольной и поперечной арматур и коэффициент надежности по ответственности.

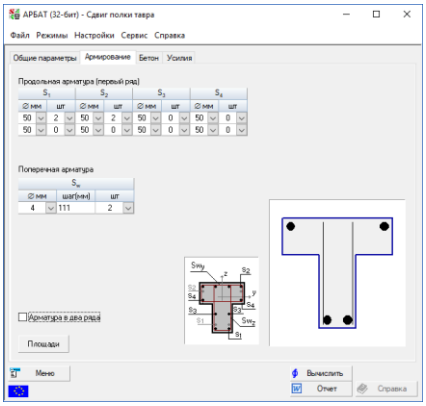


Рис. 7.5.11-2. *Страница* **Армирование**

На странице **Армирование** (рис. 7.5.11-2) задается информация о расположении продольной и поперечной арматуры по стандартным правилам, которые используются во всех других режимах.

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 6.4.2.

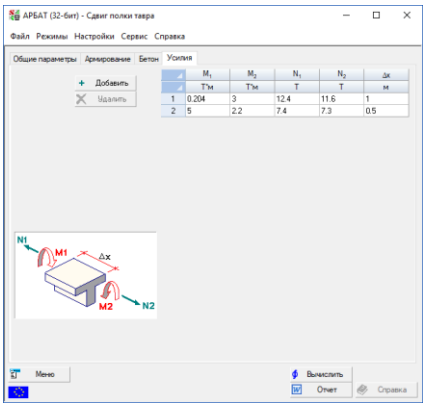


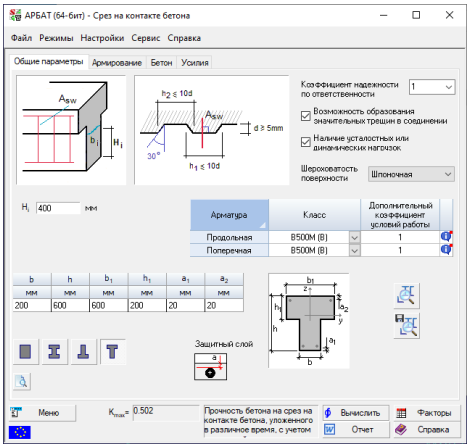
Рис. 7.5.11-3. *Страница* **Усилия**

Страница **Усилия** (рис. 7.5.11-3) предназначена для задания информации об усилиях на различных участках. Эта страница аналогична странице **Усилия** в режиме **Сопротивление сечений**. Отличия состоят в том, что здесь задаются моменты и продольные силы на концах каждого участка и длина участка.

7.5.12 Срез по контакту бетонов, уложенных в различное время (EN 1992-1-1)

В этом режиме производится расчет на срез по контакту бетона, уложенному в различное время согласно (производятся проверки, предусмотренные п. 6.2.5 EN 1992-1-1). При этом подразумевается, что условия пп. 6.2.1-6.2.4 EN 1992-1-1 для рассматриваемого сечения выполнены.

Исходные данные задаются в многостраничном диалоговом окне.

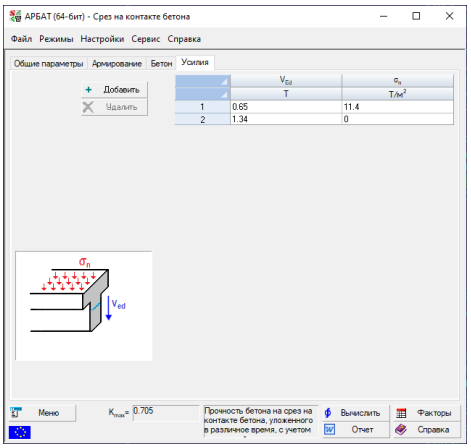


На странице **Общие параметры** (рис. 7.5.12-1) задаются размеры расчетного сечения, классы продольной и поперечной арматур и коэффициент надежности по ответственности. Кроме того, выбирается вид шероховатости поверхности (очень гладкая, гладкая, шероховатая, шпоночная), а также указывается возможность образования значительных трещин в соединении и наличия усталостных или динамических нагрузок.

Рис. 7.5.12-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Армирование** задается информация о расположении продольной и поперечной арматуры по стандартным правилам, которые используются во всех других режимах.

Характеристики бетона задаются на стандартной странице **Бетон**.



Страница **Усилия** (рис. 7.5.12-2) предназначена для задания информации об усилиях в рассматриваемом сечении. В сечении действует поперечная сила V_{Ed}, а также нормальное напряжение σ_n, вызванное внешней нормальной силой, действующей перпендикулярно контакту, которое может действовать одновременно с поперечной силой и может быть направлено в направлении противоположном направлению поперечной силы.

Рис. 7.5.12-2. *Страница* **Усилия**

7.6 Подбор арматуры

При подборе арматуры программа не проверяет конструктивные ограничения по размещению арматуры, полагая, что пользователь имеет возможность выполнить эту проверку неформальным способом. Кроме того, получив результаты подбора и убедившись в том, что конструктивные требования не могут быть выполнены, пользователь может принять решение о корректировке опалубочных размеров.

7.6.1 Подбор арматуры в балке

В этом режиме выполняется подбор арматуры в многопролетных неразрезных балках постоянного сечения по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 63.13330). Рассматривается плоский изгиб балки под действием распределенных и сосредоточенных нагрузок, объединенных в загружения, которые по физическому происхождению и свойствам могут быть классифицированы как постоянные, временные длительно действующие, кратковременные, ветровые и снеговые. Подбор выполняется для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (РСУ). Коэффициенты РСУ, учитывающие характер загружения, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*. Если в качестве норм проектирования выбран СП 16.13330.2012, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.2011.

Предполагается, что балка не испытывает действия продольных сил, и учитывается влияние только следующих силовых факторов:

M — изгибающий момент;

Q — поперечная сила.

Расчеты могут быть выполнены для балок прямоугольного, таврового и двутаврового сечений. Результатом расчета являются площади верхней и нижней продольной арматуры на участках, а также площадь и шаг расположения стержней поперечной арматуры. Предполагается, что подобранная арматура является постоянной по длине участка, при этом пользователь сам назначает количество и длину участков, на которые делится пролет балки.

Данные для подбора вводятся на страницах **Общие параметры**, **Нагрузки**, **Бетон** и **Трещиностойкость**, анализ результатов — на странице **Результаты**.

Общие параметры

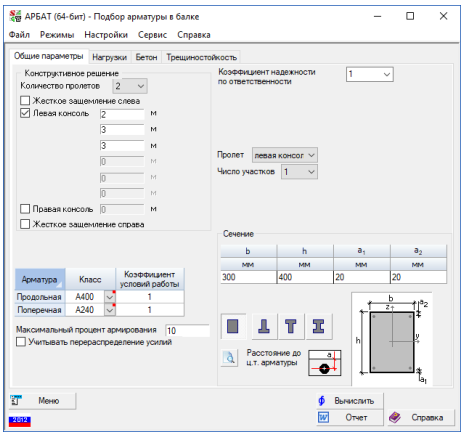


Рис. 7.6.1-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.6.1-1) назначаются геометрические характеристики многопролетной балки и вид сечения, вводятся размеры сечения и расстояние до центра тяжести стержней арматуры, назначается количество участков в пролете и их длины, задаются класс и коэффициенты условий работы продольной и поперечной арматуры. Ввод всей этой информации аналогичен заданию данных в режиме **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3).

Количество участков назначается для каждого пролета (консоли) путем выбора из выпадающего списка **Число участков**. При этом номер пролета выбирается из списка **Пролет**.

В группе **Задание длин участков** с помощью маркеров назначается способ задания длин:

- **Абсолютные** — длины участков будут задаваться в единицах длины;
- **Относительные** — длины участков будут задаваться в процентах от длины пролета.

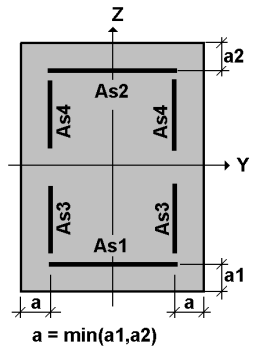
В зависимости от способа задания длины в таблице для каждого пролета следует ввести либо длины участков, либо их процентное соотношение.

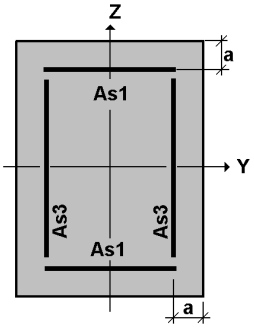
Выбор формы сечения выполняется по стандартным правилам (см. раздел 7.3.1). Отметим лишь, что здесь задаются расстояния до центра тяжести арматуры $\mathbf{a_1}$ и $\mathbf{a_2}$.

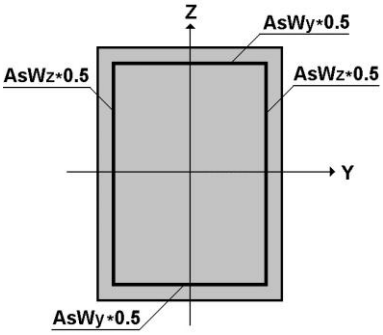
Размещение продольной и поперечной арматуры в рассматриваемых сечениях представлены на рисунках 7.6.1-2 и 7.6.1-3, соответственно.

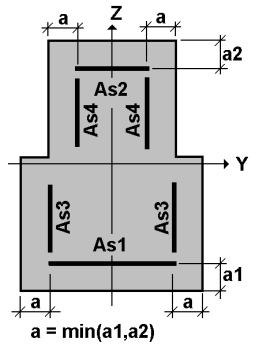
Кроме того, на этой странице задается значение допустимого максимального процента армирования, превышение которого при подборе арматуры указывает на то, что подобрать арматуру не удалось.

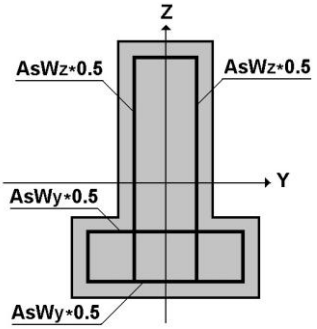
Механизм учета перераспределения усилий при активном одноименном маркере описан в разделе **Экспертиза балки**.

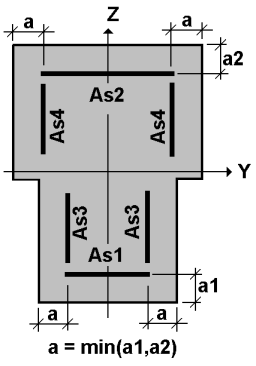


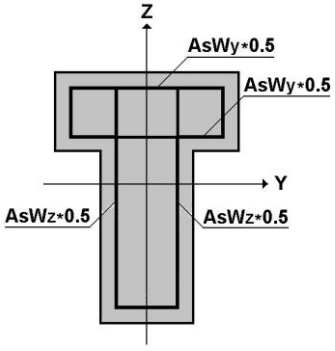


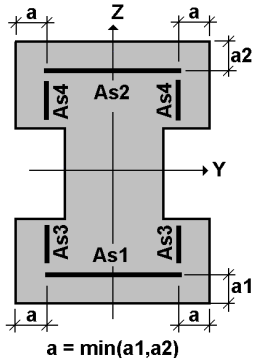


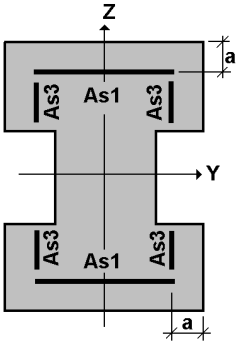












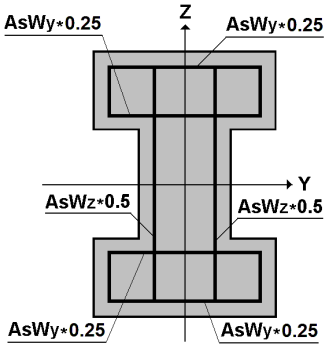


Рис. 7.6.1-2. *Размещение «площадей» продольной арматуры*

Рис. 7.6.1-3. *Размещение поперечной арматуры*

Нагрузки

Ввод нагрузок выполняется по тем же правилам, что и в режиме **Экспертиза балки** (см. раздел 7.4.3).

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Трещиностойкость

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Кроме того, если выбрана третья категория трещиностойкости, то обязательно задаются диаметры стержней продольной и поперечной арматуры.

Если расстояние до крайнего ряда стержней продольной арматуры больше расстояния до центра тяжести арматуры, заданного на странице **Общие параметры**, то это означает армирование в два ряда и, соответственно, подбор арматуры выполняется с учетом двухрядного армирования.

По результатам подбора площади арматуры с помощью сервисной функции **Дискретная арматура** (см. раздел 17.1.3) можно определить необходимый диаметр и количество арматурных стержней. Если при этом окажется, что диаметр стержней не соответствует заданному в окне **Трещиностойкость**, то необходимо выполнить новый расчет, уточнив диаметр стержней продольной арматуры.

Результаты

Подбор арматуры активизируется после подготовки исходных данных нажатием кнопки **Вычислить**. После этого открывается страница **Результаты** (рис. 7.6.1-4), на которой в виде эпюр представлены результаты подбора арматуры. Вид арматуры на эпюрах, а также процент армирования и ширина раскрытия трещин выбираются из выпадающего списка, расположенного в правом верхнем углу страницы. На участках, выделенных красным цветом, арматуру подобрать не удалось. Информацию о причинах, по которым это произошло (этот результат может зависеть и от назначенного максимального процента армирования), можно получить в таблице с результатами подбора.

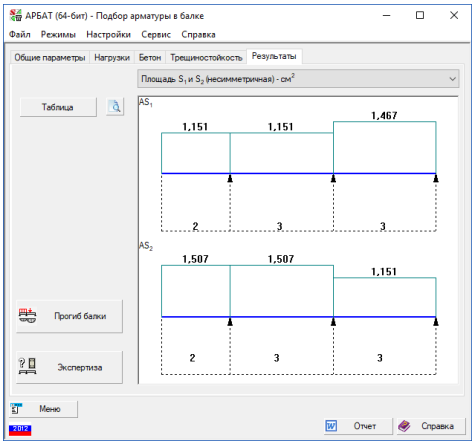


Рис. 7.6.1-4. *Страница* **Результаты**

В зависимости от выбранного в списке пункта эпюры армирования могут отображаться раздельно для каждого вида арматуры или парами. Например, одновременно будут показаны эпюры AS_1 и AS_2. После нажатия кнопки **Предварительный просмотр** открывается окно, в котором для каждого пролета балки в сечениях показаны площади подобранной продольной арматуры. Если арматуру подобрать не удалось, то сечение отображается красным цветом.

Табличные данные выводятся в отдельном диалоговом окне **Результаты армирования** (рис. 7.6.1-5), которое вызывается нажатием кнопки **Таблица**. Результаты подбора для каждого участка приводятся в одной строке, если при учете трещиностойкости не требуется дополнительной арматуры, или в двух строках, если такая арматура необходима. При этом в первой строке показано значение суммарной арматуры (по прочности и трещиностойкости), а во второй — площадь арматуры, добавленная для обеспечения трещиностойкости.

Если на участке не подобрана арматура, то в

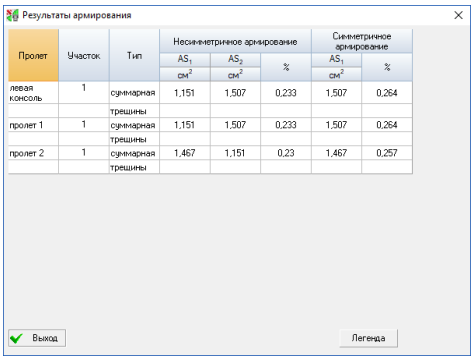


Рис. 7.6.1-5. *Диалоговое окно* **Результаты армирования**

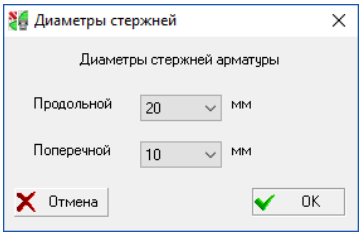


Рис. 7.6.1-6. *Диалоговое окно* **Диаметры стержней**

соответствующей строке столбца **Тип** выводится информация о причинах, по которым это произошло.

В зависимости от опции, установленной в группе **Вывод поперечной арматуры**, площадь поперечной арматуры (хомутов) может выводиться для расчетного шага (опция **По умолчанию**), полученного в результате подбора, или для шага, заданного пользователем. В последнем случае после ввода значения шага следует нажать кнопку **Применить**.

По результатам подбора арматуры можно сформировать отчет (кнопка **Отчет**), в котором приводятся схема балки и схемы загружений, описываются параметры сечения, характеристики бетона и арматуры, отображаются эпюры силовых факторов по загружениям, а также эпюры и таблица с результатами подбора.

В программе предусмотрена возможность передачи результатов подбора арматуры в режимы определения прогибов (кнопка **Прогиб балки**) или экспертизы (кнопка **Экспертиза**). Эти два режима работают с конкретной схемой армирования, для которой стержни определяются автоматически в соответствии с диаметрами, заданными на странице **Трещиностойкость** (при этом предполагается, что арматурные стержни расположены в один ряд и, если количество стержней оказывается больше 40, выдается сообщение об ошибке).

Если расчет выполнялся для первой категории трещиностойкости, то диаметр стержней задается пользователем в диалоговом окне **Диаметры стержней** (рис. 7.6.1-6), которое появляется после вызова указанных выше режимов.

7.6.2 Подбор арматуры в однопролетной балке

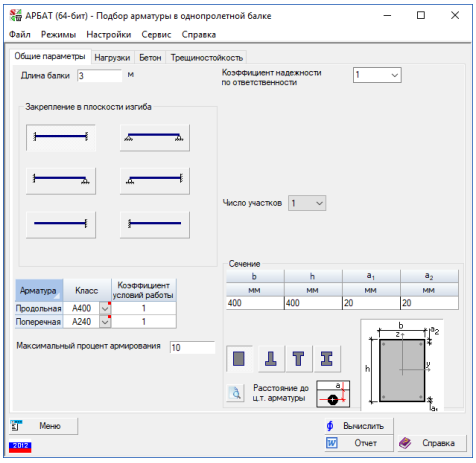


Рис. 7.6.2-1. *Страница* **Общие параметры** *в режиме подбора арматуры в однопролетной балке*

Режим аналогичен режиму **Подбор арматуры в балке** (см. предыдущий раздел). Отличия состоят в следующем:

- задается только длина балки (рис. 7.6.2-1);
- выбирается система закреплений балки в плоскости изгиба (выбор схемы закрепления осуществляется нажатием кнопки с соответствующей пиктограммой);
- не учитывается перераспределение усилий;
- на странице **Нагрузки** не указывается пролет, в котором приложена нагрузка.

7.6.3 Подбор арматуры в колонне

В этом режиме выполняется подбор площади арматуры в колонне постоянного сечения по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 63.13330). Рассматривается внецентренное растяжение-сжатие при двухосном эксцентриситете. Проверки всех сечений выполняются для автоматически формируемых расчетных сочетаний усилий (РСУ). Коэффициенты РСУ, учитывающие характер загружения, назначаются программой в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*. Если в качестве норм проектирования выбран СП 16.13330.2012, то комбинирование нагрузок производится в соответствии с требованиями СП 20.13330.2011.

Если подбор арматуры в соответствии со СНиП 2.03.01-84* выполняются только по первому предельному состоянию, то учитываются следующий набор силовых факторов:

N — продольная сила;

M_y — момент, изгибающий элемент в плоскости XoZ, вектор которого направлен по оси Y;

M_z — момент, изгибающий элемент в плоскости XoY, вектор которого направлен по оси Z;

Q_z — поперечная сила, направленная вдоль оси Z;

Q_y — поперечная сила, направленная вдоль оси Y;

$M_{кр}$ — крутящий момент, вектор которого направлен по оси X.

В противном случае (подбор с учетом второго предельного состояния) рассматриваются только перечисленные ниже силовые факторы:

N — продольная сила;

M_y — момент, изгибающий элемент в плоскости XoZ, вектор которого направлен по оси Y;

Q_z — поперечная сила, направленная вдоль оси Z.

При подборе в соответствии со СНиП 52-01-2003 (СП 63.13330) второе предельное состояние можно учесть для произвольного набора N, M_y и M_z.

Расчеты могут быть выполнены для колонн прямоугольного, таврового, двутаврового, кольцевого и круглого сечений. Результатом расчета являются площади симметричной и/или несимметричной продольной арматуры, а также площадь и шаг поперечной арматуры на участках колонны. Предполагается, что подобранная арматура является постоянной по длине участка, при этом пользователь сам назначает количество и длину участков, на которые делится колонна.

Подготовка данных выполняется на страницах **Общие параметры**, **Усилия**, **Бетон** и **Трещиностойкость**, анализ результатов — на странице **Результаты**.

Общие параметры

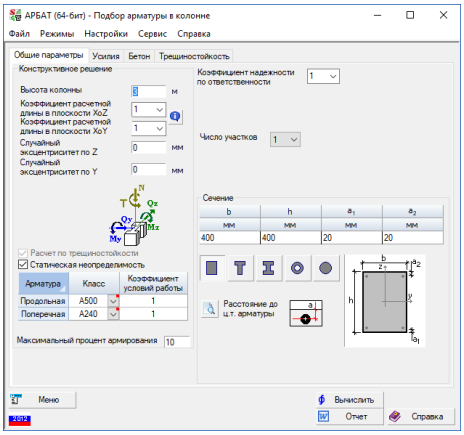


Рис. 7.6.3-1. *Страница* **Общие параметры**

На странице **Общие параметры** (рис. 7.6.3-1) назначаются высота колонны и вид сечения, вводятся размеры сечения и расстояния до центра тяжести арматуры, коэффициенты расчетной длины и значения случайных эксцентриситетов, выбирается количество участков в колонне, назначаются классы и коэффициенты условий работы продольной и поперечной арматуры. Кроме того, состояние специального маркера **Расчет по трещиностойкости** определяет необходимость подбора арматуры колонны по второму предельному состоянию, а маркер **Статическая неопределимость** определяет, принадлежит колонна статически определимой или статически неопределимой конструкции.

Количество участков в колонне назначается путем выбора из выпадающего списка **Число участков**.

В группе **Задание длин участков** с помощью маркеров назначается способ задания длин:

- **Абсолютные** — длины участков будут задаваться в единицах длины;
- **Относительные** — длины участков будут задаваться в процентах от высоты колонны.

В зависимости от способа задания длины для каждого участка следует ввести в таблице или его длину, или процентное соотношение длин. Нумерация участков производится снизу вверх.

Выбор формы сечения выполняется нажатием кнопки с изображением сечения, после чего в соответствующие поля вводятся размеры сечения и расстояния до центра тяжести арматуры $\mathbf{a_1}$ и $\mathbf{a_2}$. Контроль формы сечения выполняется в окне **Предварительный просмотр**, которое появляется после нажатия кнопки .

Размещения продольной и поперечной арматуры в рассматриваемых сечениях представлены на рисунках 7.6.3-2 и 7.6.3-3, соответственно.

Коэффициенты расчетной длины и случайные эксцентриситеты задаются аналогично режиму **Сопротивление железобетонных сечений** (см. раздел 7.4.1).

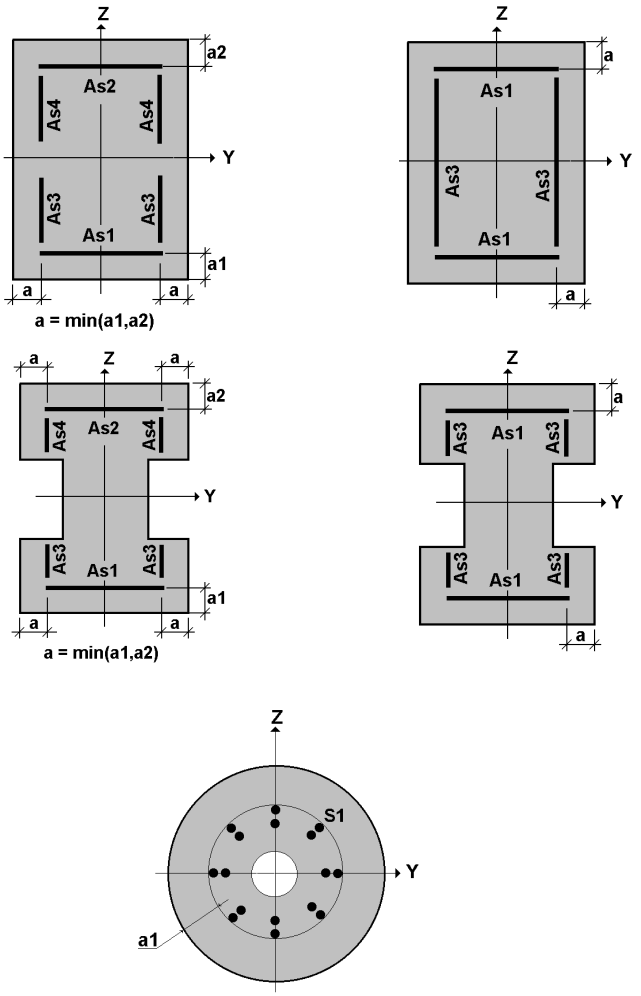


Рис. 7.6.3-2. *Размещение «площадей» продольной арматуры*

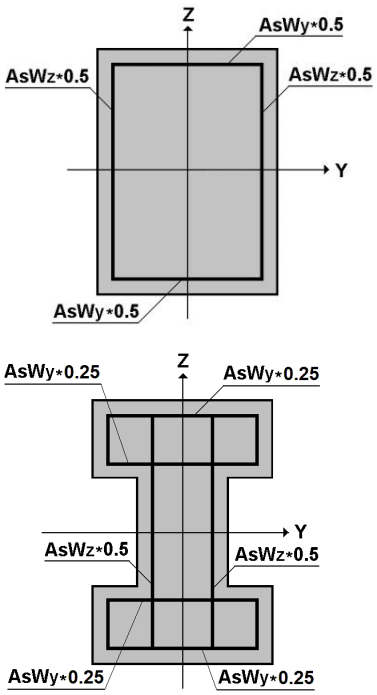


Рис. 7.6.3-3. *Размещение поперечной арматуры*

УСИЛИЯ

Параметры загружений задаются на странице **Усилия** по тем же правилам, что и в режиме **Экспертиза колонны** (см. раздел 7.4.7).

Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Трещиностойкость

Данные по трещиностойкости задаются на странице **Трещиностойкость** по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Страница доступна всегда при расчетах по СНиП 52-01-2003 (СП 63.13330) и при активном маркере **Расчет по трещиностойкости** (СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96) на странице **Общие параметры**.

Результаты

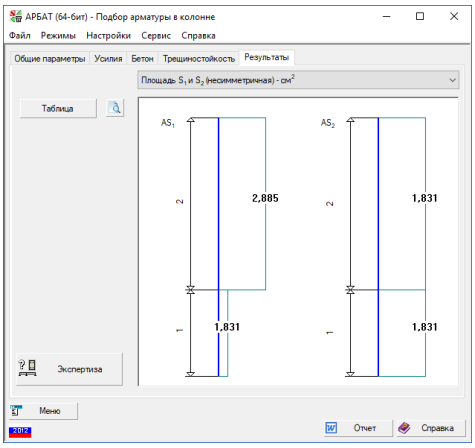


Рис. 7.6.3-4. *Страница* **Результаты**

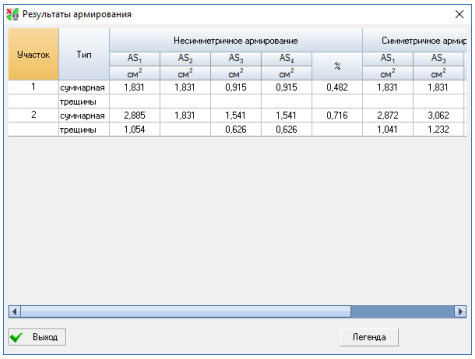


Рис. 7.6.3-5. *Диалоговое окно* **Результаты армирования**

После подготовки исходных данных процесс подбора арматуры активизируется нажатием кнопки **Вычислить**. Затем открывается страница **Результаты** (рис. 7.6.3-4), на которой в виде эпюр представлены результаты расчета (площадь арматуры, процент армирования, ширина раскрытия трещин). Вид отображаемых результатов выбирают из выпадающего списка, расположенного в верхнем углу страницы. На участках, выделенных красным цветом, арматуру подобрать не удалось (данный результат зависит от установленного пользователем максимального процента армирования). Информацию о причинах, по которым это произошло, можно получить в таблицах с результатами подбора.

В зависимости от выбранного в списке пункта эпюры армирования могут отображаться раздельно для каждого вида арматуры или парами. Например, одновременно будут показаны эпюры AS_1 и AS_2 или AS_3 и AS_4. После нажатия кнопки **Предварительный просмотр** открывается окно, в котором для каждого участка колонны в сечениях показаны площади подобранной продольной арматуры. Если арматуру подобрать не удалось, то сечение отображается красным цветом.

Табличные данные представлены в отдельном диалоговом окне **Результаты армирования** (рис. 7.6.3-5), которое вызывается нажатием кнопки **Таблица**. Результаты подбора для каждого участка отображаются в одной строке, если при учете трещиностойкости не требуется дополнительной арматуры, или в двух строках, если такая арматура необходима. При этом в первой строке показано значение суммарной арматуры (по прочности и трещиностойкости), а во второй — площадь арматуры, добавленная для обеспечения трещиностойкости.

Если на участке не подобрана арматура, то в соответствующей строке столбца **Тип** выводится информация о причинах, по которым это произошло.

В зависимости от опции, установленной в группе **Вывод поперечной арматуры**, площадь поперечной арматуры (хомутов) может выводиться для расчетного шага (опция **Шаг по умолчанию**), полученного в результате подбора, или для шага, заданного пользователем. В последнем случае после ввода значения шага следует нажать кнопку **Применить**.

По результатам подбора арматуры можно сформировать

отчет (кнопка **Отчет**), в котором приводятся схема колонны и параметры загружений, размеры сечения, характеристики бетона и арматуры, таблица с результатами подбора.

В программе предусмотрена возможность передачи результатов подбора в режим экспертизы армирования (кнопка **Экспертиза**). При этом количество стержней арматуры определяется по тем же правилам, что и в режиме **Подбор арматуры в балке** (см. раздел 7.6.1).

Особенности реализации

Расчет внецентренно сжатых элементов

Согласно пункту 3.24 СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 расчет конструкций выполняется по недеформированной схеме, учитывая при гибкости $l_0/i > 14$ влияние прогиба элемента на его прочность (l_0 — расчетная длина элемента, i — радиус инерции в силовой плоскости поперечного сечения элемента).

Расчет слабоармированных сечений

При определении ширины раскрытия трещин для слабоармированных сечений при $M = M_{crc}$ трещины сразу получают большое раскрытие. В программе величина a_{crc} в диапазоне $M_{crc} \le M \le M_0$ уменьшается умножением на коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона над трещиной [7].

Ограничения реализации

При установленных нормах проектирования СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96:

Не реализован расчет железобетонных элементов из ячеистого, поризованного и напрягающего бетонов.

Не выполняется расчет предварительно напряженных железобетонных элементов.

Не выполняется расчет на выносливость.

При расчете по второму предельному состоянию расчет на закрытие трещин не выполняется.

Не производится подбор продольной арматуры для обеспечения ограничений по гибкости.

7.6.4 Подбор арматуры в сечении

В этом режиме выполняется подбор площади арматуры по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 63.13330). Режим аналогичен описанным выше режимам подбора арматуры в конструктивных элементах (балка, колонна, ...). Основное отличие состоит в том, что подбор производится на основании усилий в сечении. Задание усилий идентично заданию усилий режима **Сопротивление сечений** (включая возможность импорта расчетных сочетаний усилий, вычисленных программой **SCAD**).

7.6.5 Подбор арматуры в плите (по Карпенко)

В этом режиме выполняется подбор арматуры в элементах оболочки, плиты и балки-стенки по прочности и трещиностойкости в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (СНиП 52-01-2003, СП 52-101-2003, СП 63.13330). Так как в нормах (за исключением СП 63.13330) не оговорена процедура проверки арматуры в двумерных элементах, то в системе **SCAD Office** (включая программу **АРБАТ**) для этого использована методика Н.И. Карпенко [13]. Основные положения этой методики соответствуют общим положениям расчета плоскостных конструкций, приведенным в СНиП.

Данные для подбора вводятся на страницах **Общие параметры**, **Напряжения**, **Бетон** и **Трещиностойкость** (страница доступна при активном маркере **Расчет по трещиностойкости**), анализ результатов — на странице **Результаты**.

Страница Общие параметры

На странице **Общие параметры** (рис. 7.6.5-1) задаются следующие данные:

- толщина пластины;
- тип элемента;
- коэффициент надежности по ответственности;
- расстояние до центра тяжести арматуры;
- признак расчета по трещиностойкости;
- признак учета требований норм по минимальному проценту армирования;
- максимальный процент армирования;
- класс, коэффициент условий работы и диаметр продольной арматуры;
- класс, коэффициент условий работы и диаметр поперечной арматуры;
- параметры минимального армирования.

Тип элемента — рассматриваются элементы типа оболочка, балка-стенка или плита. Для элементов типа плита считаются равными нулю напряжения N_x, N_y, T_{xy}, а для элементов типа балка-стенка — M_x, M_y, M_{xy}, Q_x, Q_y.

Коэффициент надежности по ответственности — выбирается из выпадающего списка. В зависимости от выбранных норм по надежности коэффициент надежности по ответственности будет применен либо только к расчетным, либо к расчетным и нормативным величинам усилий/напряжений.

Расстояние до центра тяжести арматуры — может задаваться как двумя, так и четырьмя числами. В первом случае значение $\mathbf{a_1}$ соответствует расстоянию до центра тяжести нижней арматурной сетки, а $\mathbf{a_2}$ — верхней арматурной сетки. Во втором случае $\mathbf{a_1}$ и $\mathbf{a_2}$ задаются для арматуры, расположенной соответственно снизу и сверху вдоль оси X_1, а $\mathbf{a_3}$ и $\mathbf{a_4}$ — для арматуры вдоль оси Y_1.

Признак расчета по трещиностойкости — при активном маркере (установлен по умолчанию) будет выполняться расчет с учетом трещиностойкости.

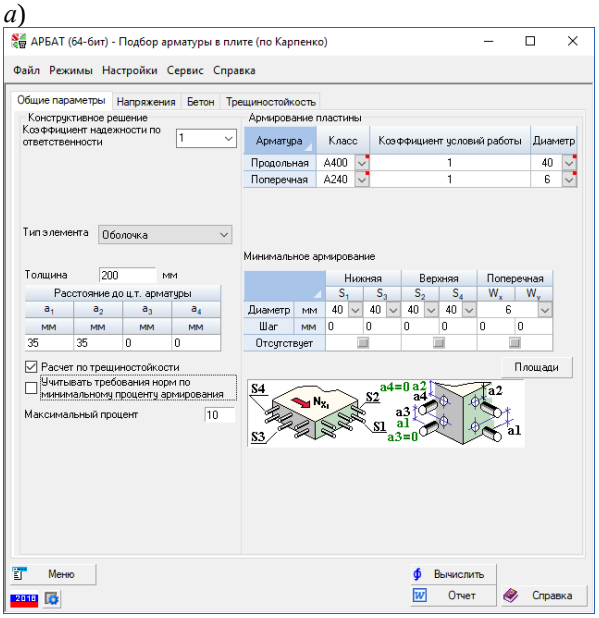
Признак учета требований норм по минимальному проценту армирования — при активации одноименного маркера в результате подбора обеспечивается такая погонная площадь армирования, которая не меньше площади, необходимой для удовлетворения требований норм по минимальному проценту армирования.

Минимальное армирование — данные по армированию, заданные в одноименной таблице, рассматриваются как минимальное армирование, таким образом, рассчитанная площадь арматуры будет не меньше, чем площадь заданной арматуры.

Максимальный процент армирования — при подборе арматуры превышение заданного значения рассматривается, как признак невозможности выполнения подбора.

Армирование пластины — в таблице задаются класс, коэффициент условий работы и диаметр продольной и поперечной арматуры (диаметр задается только при выполнении расчета на трещиностойкость).

а)



б)

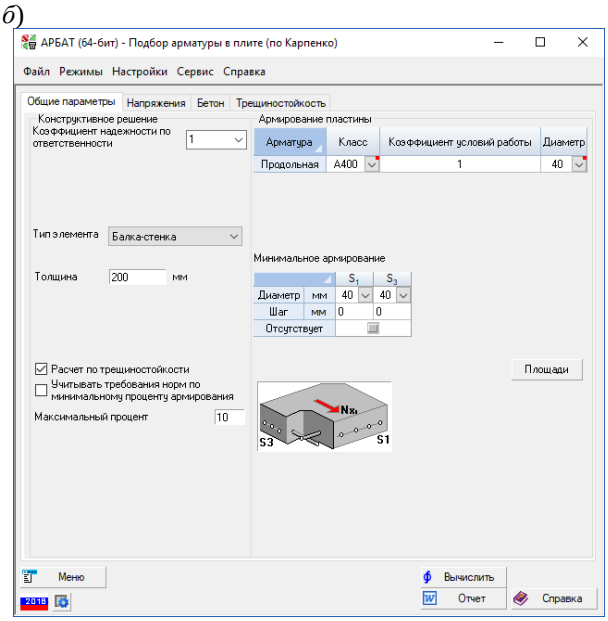


Рис. 7.6.5-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Подбор арматуры (по Карпенко)**
а) оболочка/ плита *б*) балка-стенка

Страница Напряжения

Страница **Напряжения** (рис. 7.6.5-2) предназначена для ввода напряжений, действующих в элементе. Напряжения могут быть заданы пользователем или загружены из файла с расширением **.rsu2** (кнопка) со значениями расчетных сочетаний усилий (РСУ), полученными в результате расчета в комплексе **SCAD**. Файл формируется в режиме **Информация об элементе** в разделе **РСУ** командой **Экспорт**.

Каждый комплект силовых факторов должен содержать расчетные, нормативные и нормативные длительные значения напряжений. Кроме того, с помощью соответствующих маркеров комплект может быть помечен как сейсмический, кратковременный или особый в зависимости от того, какие воздействия вошли в сочетание.

С помощью кнопок **Добавить** и **Удалить** можно добавить новые строки в таблицу или удалить существующие, соответственно.

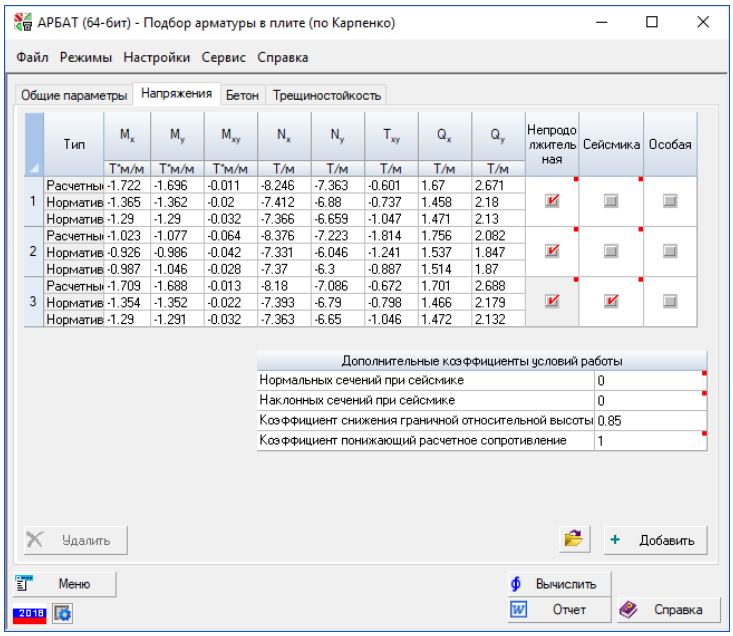


Рис. 7.6.5-2. *Страница* **Напряжения** *диалогового окна* **Подбор арматуры (по Карпенко)**

Правила знаков при задании напряжений показаны на рис. 7.6.5-3.

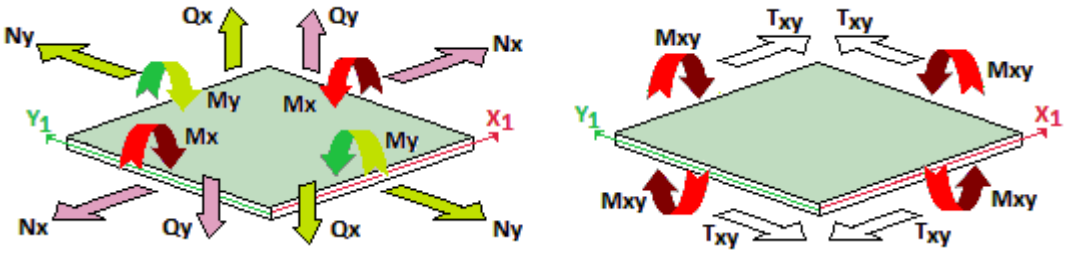


Рис. 7.6.5-3. Правила знаков

Страница Бетон

Характеристики бетона задаются на странице **Бетон** по правилам, описанным в разделе 7.3.2.

Страница Трещиностойкость

Эта страница доступна в том случае, когда на странице **Общие данные** активен маркер **Расчет по трещиностойкости**. Данные по трещиностойкости задаются по правилам, описанным в разделе 7.3.4.

Дополнительные настройки

Кнопкой — вызывается одноименное диалоговое окно (7.6.5-4), в котором определяются правила применения некоторых положений норм, в частности, ограничение максимального расстояния между трещинами (маркер ***Ограничивать расстояние между трещинами величиной min(40 см, 40⌀)*** и правила учета поперечных сил (маркер ***Использовать формулу (8.106) СП 63.13330***). Подробно указанные правила рассматриваются в разделе 7.3.7.

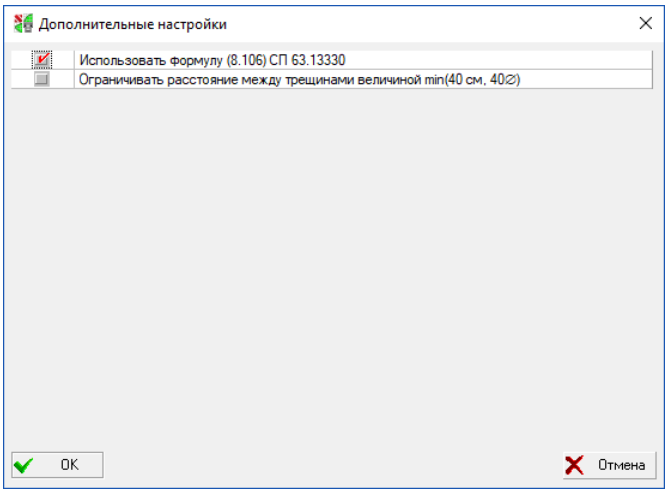


Рис. 7.6.5-4. *Диалоговое окно* **Дополнительные настройки**

Страница Результаты

После активации расчета кнопкой **Вычислить** появляется страница **Результаты** (рис. 7.6.5-5). Таблица **Подобранная арматура** включает данные о диаметре и шаге продольной и поперечной арматуры на погонный метр, а также соответствующие им значения площади арматуры — *расчетной* (без учета сортамента), в том числе *по трещиностойкости* и с *учетом сортамента*.

В процессе подбора арматуры в зависимости от типа элемента выполняются проверки прочности сечения пластины, прочность по поперечным силам Q_x, и Q_y , непродолжительной и длительной ширине раскрытия трещин и др.

Нажатие кнопки **Экспертиза** вызывает переход в режим **Экспертиза армирования двумерных элементов**, в котором выполняются проверки выполненного армирования и построения диаграммы факторов.

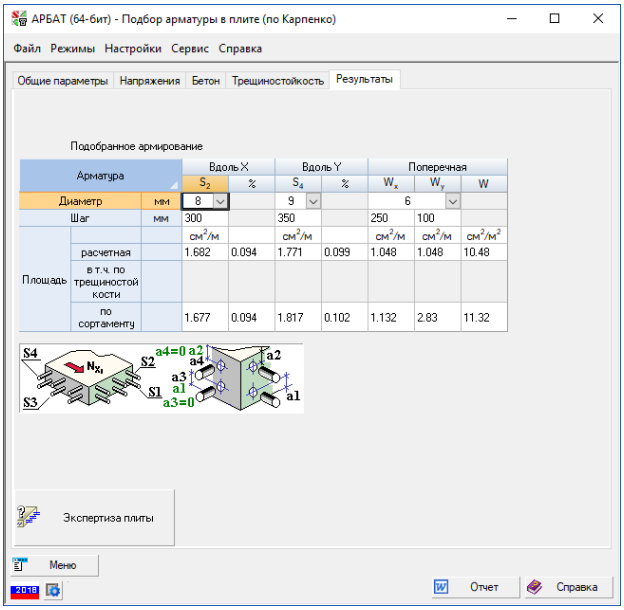


Рис. 7.6.5-5. *Страница* **Результаты** *диалогового окна* **Подбор арматуры (по Карпенко)**

7.7 Геометрические характеристики

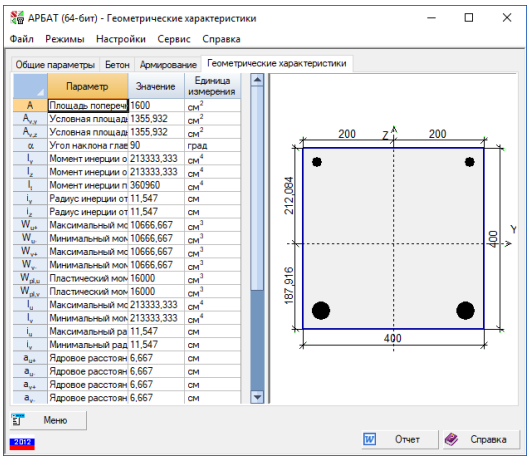


Рис. 7.7-1. *Диалоговое окно* **Геометрические характеристики**

В этом режиме вычисляются геометрические характеристики бетонных и железобетонных сечений. Само сечение, а также данные о бетоне и армировании задаются по описанным выше правилам (см. раздел 7.3). Результаты в форме, представленной на рис. 7.7-1, выдаются на странице **Геометрические характеристики** и содержат данные о площади, моментах инерции бетонного и приведенного сечений, проценте армирования. Эти данные могут быть использованы при статическом и динамическом расчете конструкций. Если, например, в программе **SCAD** задать жесткость стержневого элемента в численно-параметрической форме и использовать данные, полученные из режима **Геометрические характеристики**, то в результате будет учтено влияние армирования.

7.8 Анкеровка арматуры

Данный режим предназначен для расчета длины анкеровки (заделки) арматуры в бетоне и длины нахлеста (стык арматуры внахлестку) арматурных стержней указанного диаметра в зависимости от выбранного класса арматуры и условий работы арматуры (в растянутом или сжатом бетоне).

Расчетная длина анкеровки арматуры может быть скорректирована умножением на отношение необходимой по расчету и фактической площади сечения арматуры.

Результат каждого подбора длины анкеровки или нахлеста арматурных стержней можно сохранить в файле с исходными данными с расширением **.sav**, а также получить отчет с результатами расчета.

Если в качестве норм проектирования выбран СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96 (с учетом изменений на территории Украины), то расчет анкеровки и нахлеста арматурных стержней производится в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

При вычислении длины анкеровки и длины нахлеста учитываются условия сцепления, метод анкеровки (прямые и загнутые стержни), наличие поперечной арматуры к анкеруемой и много других факторов.

Величина длины анкеровки вычисляется как для отдельных, так и для сдвоенных стержней. Сдвоенными стержнями считаются стержни, у которых расстояние в свету меньше диаметра этих стержней.

Величина сжимающего напряжения в бетоне, действующего перпендикулярно анкеруемому стержню, определяется делением опорной реакции на площадь опирания элемента.

Величина сечения поперечной арматуры вдоль расчетной длины зоны анкеровки вычисляется методом последовательного приближения на основании заданного шага и диаметра поперечной арматуры.

7.9 Дополнительные сведения о программе АРБАТ

7.9.1 О сейсмических воздействиях

В некоторых режимах программы **АРБАТ** (*Экспертиза Балки, Экспертиза Колонны, ...*) понятие «сейсмическая нагрузка» отсутствует. Это связано с тем, что для корректного учета сейсмики требуется задание специальной информации о логических взаимосвязях загружений (что фактически реализуется в режиме РСУ программы **SCAD**).

Отметим, что п. 2.14 СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах требует использовать дополнительный коэффициент условий работы, который больше 1 (см. табл. 7 СНиП II-7-81*). При расчете конструкции на одновременное действие нескольких нагрузок (а для строительных конструкций это происходит практически всегда), одна из которых сейсмическая, СНиП формально требует использование этого коэффициента даже в тех случаях, когда доля сейсмического воздействия мала по сравнению с другими (длительными) нагрузками. Подобное требование может приводить к «опасным результатам».

Пользователь всегда может учесть сейсмику, установив, например, в параметрах программы **АРБАТ** коэффициент условий работы (согласно требованиям табл. 7 СНиП II-7-81*). Без этих «дополнительных» действий расчет будет выполнен в запас прочности.

7.9.2 Факторы в деформационной и силовой моделях

При сравнении результатов расчета по предельным усилиям и по нелинейной деформационной модели часто возникает ситуация, при которой факторы (коэффициенты использования нормативного ограничения) отличаются многократно. Чтобы пояснить причину такого расхождения, рассмотрим расчет прочности нормального сечения центрально растянутого стержня.

При расчете по предельным усилиям должно быть выполнено ограничение (см. п. 8.1.18 СП 63.13330)

$$N \le R_s A_{s,tot},$$

где N – продольная растягивающая сила от внешних нагрузок;

R_s – расчетное сопротивление арматуры растяжению;

$A_{s,tot}$ – площадь сечения всей продольной арматуры.

В этом случае соответствующий фактор равен

$$k_{force} = N / R_s A_{s,tot},$$

то есть k_{force} зависит от N линейно.

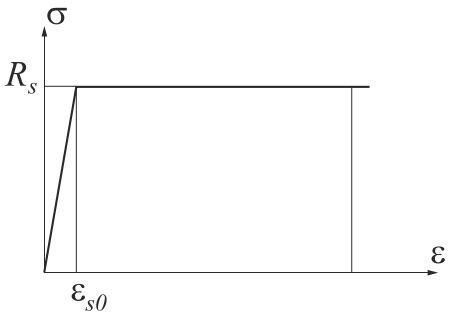
При использовании нелинейной деформационной модели должно быть выполнено ограничение (см. п. 8.1.24 СП 63.13330)

$$k_{def} = \varepsilon_{s,max} / \varepsilon_{s,ult} \le 1,$$

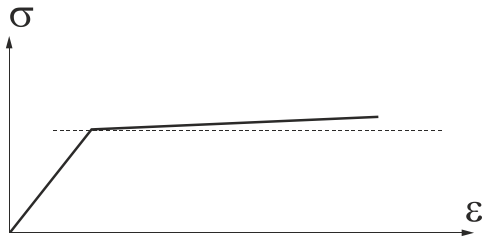
где $\varepsilon_{s,max}$ – относительная деформация наиболее растянутого стержня арматуры в нормальном сечении элемента от действия внешней нагрузки;

$\varepsilon_{s,ult}$ – предельное значение относительной деформации удлинения арматуры.

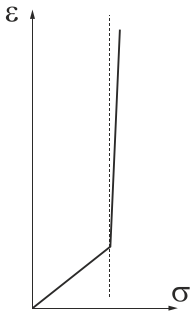
То есть, зная величину N (или напряжение в арматуре $\sigma_s = N / A_{s,tot}$), следует определить относительную деформацию арматуры ε на основании диаграммы состояния и сравнить ее с предельно допустимой ($\varepsilon_{s,ult}$). СП 63.13330 рекомендует использовать диаграмму следующего вида



Если величина $N/A_{s,tot} < R_s$, то никаких проблем не возникает, но уже при $N/A_{s,tot} = R_s$ рекомендуемая СП диаграмма не позволяет однозначно определить ε (ε может принимать любое значение превышающее ε_{s0}) и получить фактор, который позволит сделать вывод о том насколько следует повысить несущую способность сечения (или понизить величину продольной силы), что бы были выполнены требования норм. Поэтому в расчетах по **SCAD** или **Арбат** используется модифицированная диаграмма, в которой верхний участок не горизонтальный, а немного наклонен:

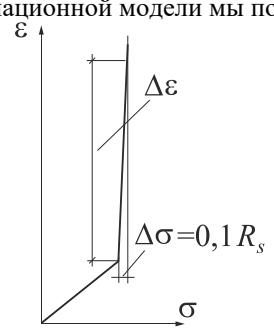


Изобразим эту диаграмму следующим образом:



Предположим, что продольная сила превышает предельно допустимую по п. 8.1.18 на 10%, то есть $k_{force} = 1{,}1$.

При использовании нелинейной деформационной модели мы получим следующую картину



то есть относительная деформация значительно возросла (намного больше 10%) и мы получаем фактор $k_{def} >> 1{,}1$.

Рассмотрим еще один пример, который демонстрирует значительную разницу между k_{def} и k_{force} в ситуации, когда требования СП по прочности нормальных сечений выполнены. Рассматривая опять центрально растянутый элемент с арматурой класса А500, предположим, что продольная сила такова, что в арматуре возникает напряжение равное $0.99R_s$. Очевидно, что при этом $k_{\text{force}}=0.99$. Деформация арматуры при этом равна $0.99\varepsilon_{s0}$, где (согласно в. 6.2.11 СП 63.13330) $\varepsilon_{s0}=R_s/E_s=0.002175$. То есть $k_{\text{def}}=0.99\varepsilon_{s0}/\varepsilon_{s,ult}=0.8613$.

Аналогичная ситуация может возникать и при сравнении других факторов.

7.9.3 Основные принципы подбора арматуры в конечных элементах плиты и оболочки

Выбор типа армирования

Следуя [13], в первую очередь рассмотрим условия возможного образования трещин в плите, которые свидетельствуют о необходимости постановки той или иной арматуры. Анализ выполняется на примере изучения работы некоторых малых в плане характерных элементов с трещинами, выделяемых из конструкции. Ввиду того, что при этом принципиальных различий между характером работы малого элемента плиты и оболочки не существует (на малом участке кривизна оболочки не сказывается), мы будем рассматривать плоские пластины, воспринимающие как изгибную, так и мембранную группу усилий, т. е. рассматривается совместное действие на элементы всех трех моментов (изгибающих и крутящих) и трех сил (нормальных и касательных).

Рассматриваемые элементы считаем такими, что можно пренебречь влиянием поперечных сил на их деформативность и прочность как до, так и после появления трещин. В силу этой гипотезы рассматриваемые плиты относятся к категории тонких плит. Если каким-то способом установлено, что имеется возможность пренебречь действием поперечных сил, то полученные выводы можно распространять и на пластины средней толщины.

Характер деформирования железобетонных пространственных конструкций в областях с трещинами зависит от схемы трещин, т. е. ориентации трещин относительно направлений армирования, взаимного пересечения трещин, возникновения трещин на одной или обеих поверхностях элемента, характера прохождения трещин по толщине элемента (сквозные или несквозные трещины). Сквозные трещины встречаются при безмоментном напряженном состоянии (в элементах находящихся в плоском напряженно-деформированном состоянии типа балок-стенок) или при дополнительном действии небольших моментов. Предполагается, что трещины нормальны к срединной поверхности элементов.

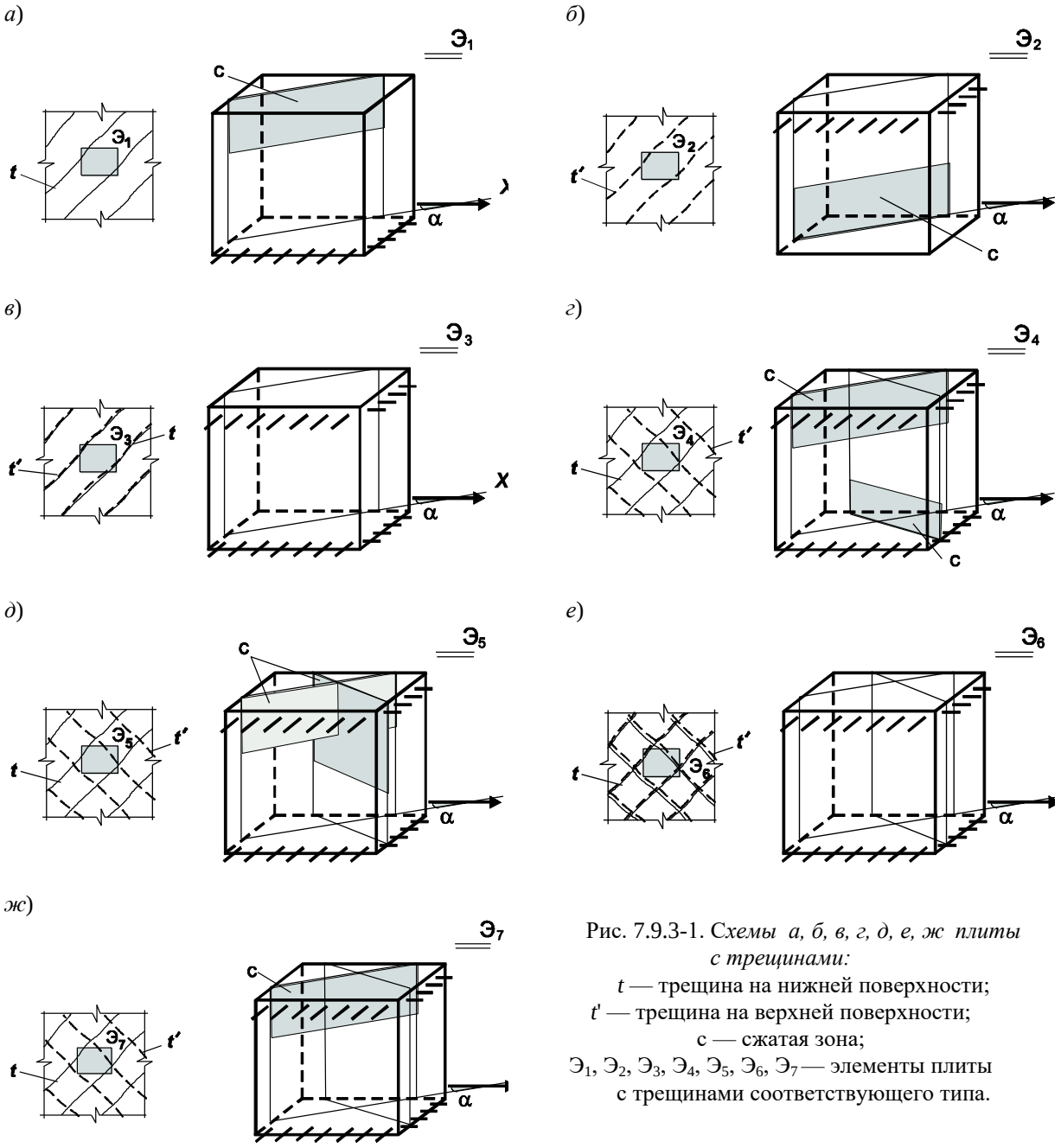


Рис. 7.9.3-1. *Схемы а, б, в, г, д, е, ж плиты с трещинами:*
t — трещина на нижней поверхности;
t' — трещина на верхней поверхности;
с — сжатая зона;
$Э_1$, $Э_2$, $Э_3$, $Э_4$, $Э_5$, $Э_6$, $Э_7$ — элементы плиты с трещинами соответствующего типа.

Разнообразие трещин в элементах можно свести к семи схемам (рис. 7.9.3-1):

1. Непересекающиеся трещины проходят на одной из поверхностей: нижней (рис. 7.9.3-1, *а*) или верхней (рис. 7.9.3-1, *б*); при этом в элементах имеется растянутая зона с трещинами и сжатая зона без трещин (элементы $Э_1$ и $Э_2$).
2. Элемент пронизан непересекающимися сквозными трещинами (рис. 7.9.3-1, *в*).

3. Трещины разных направлений имеются одновременно на нижней и верхней поверхностях элемента (рис. 7.9.3-1, *г*). Они часто встречаются в угловых зонах плит, где действуют большие крутящие моменты. В верхней и нижней зонах имеются полосы бетона между трещинами, воспринимающие силы сжатия (они представляют своеобразный тип «сжатых зон», пронизанных трещинами).
4. На одной из поверхностей элемента — нижней или верхней (рис. 7.9.3-1, *д*) проходят пересекающиеся трещины двух направлений.
5. Элемент пронизан пересекающимися сквозными трещинами (рис. 7.9.3-1, *е*).
6. На одной из поверхностей имеются непересекающиеся, а на другой пересекающиеся трещины (рис. 7.9.3-1, *ж*).

Все схемы могут быть разделены на две крупные группы: группа *Н* — непересекающихся трещин (см. рис. 7.9.3-1), к которой относятся схемы *а*, *б*, *в*, и группа *П* — пересекающихся трещин, к которой относятся схемы *г*, *д*, *е*, *ж*.

Условия трещинообразования для элементов, подверженных совместному действию моментов и нормальных сил можно сформулировать в виде обобщения теории ядровых моментов трещинообразования стержневых систем. Предложение сводится к распространению теории ядровых моментов А.А. Гвоздева и С.А. Дмитриева [1] на более сложные железобетонные конструкции плит и оболочек.

Две поверхности в элементе, отстоящие от срединной поверхности на расстоянии $\pm r_я$, назовем, соответственно, верхней и нижней поверхностями ядровых точек. Величина $r_я = h/6$ определяется как для полоски плиты по формуле сопротивления материалов.

Введем два новых тензора ядровых моментов: один с компонентами $M_{яx}$, $M_{яy}$ и $M_{яxy}$, где

$$M_{яx} = M_x + N_x r_я; \quad M_{яy} = M_y + N_y r_я; \quad M_{яxy} = M_{xy} + N_{xy} r_я, \tag{7.9.3.1}$$

а другой с компонентами

$$M'_{яx} = - M_x + N_x r_я; \quad M'_{яy} = - M_y + N_y r_я; \quad M'_{яxy} = - M_{xy} + N_{xy} r_я. \tag{7.9.3.2}$$

Из самого определения ядровых расстояний, которые вычисляются из условия обращения в нуль напряжения на кромке поперечного сечения [13], следует, что появление положительного ядрового момента означает наличие растяжения на соответствующей кромке. Если считать, что растяжения обязаны восприниматься арматурой, то решение о необходимости армирования принимается на основе анализа следующих неравенств:

для нижней зоны элемента:

$$M_{я.макс} \le 0; \qquad M_{я.мин} \le 0, \tag{7.9.3.3}$$

для верхней зоны элемента:

$$M'_{я.макс} \le 0; \qquad M'_{я.мин} \le 0. \tag{7.9.3.4}$$

Если нарушается первое условие (7.9.3.3), то образуется трещина по схеме *а* (рис. 7.9.3-1), которая проходит по площадке действия главного ядрового момента $M_{я.макс}$. Угол α наклона этой площадки (трещины) к оси X в момент нарушения первого неравенства (7.9.3.3) можно определить из известного выражения

$$\operatorname{tg}\alpha = (M_{я.макс} - M_{яy})/ M_{яxy}. \tag{7.9.3.5}$$

При нарушении первого неравенства (7.9.3.4) образуются трещины по схеме *б* (рис. 7.9.3-1). Угол наклона верхней трещины к оси X определяется из выражения

$$\operatorname{tg}\alpha = (M'_{я.макс} - M'_{яy})/ M'_{яxy}. \tag{7.9.3.6}$$

Одновременное нарушение первого условия (7.9.3.3) или первого условия (7.9.3.4) и дополнительного неравенства $N_{яl} \le 0{,}75 R_p h$ указывает на образование трещин по схеме *в* (рис. 7.9.3-1). Дополнительное неравенство устанавливается на основании предположения, что сквозные трещины образуются в момент, когда по сечению имеет место однозначная трапецеидальная эпюра растягивающих нормальных на-

пряжений, равных на одной из крайних и срединной поверхности $R_р$, а на другой крайней поверхности — нулю.

Одновременное нарушение первого неравенства (7.9.3.3) и первого неравенства (7.9.3.4) указывает на образование трещин по схеме *г* (рис. 7.9.3-1).

Нарушение двух неравенств (7.9.3.3) указывает на образование трещин в нижней зоне по схеме *д* (рис. 7.9.3-1), а нарушение двух неравенств (7.9.3.4) — образование трещин в верхней зоне аналогично схеме *д*.

Предполагаем, что одновременное нарушение условий (7.9.3.3) и неравенств $N_{я1} \le 0{,}75R_р h$ и $N_{я2} \le 0{,}75R_р h$ или (7.9.3.4) и неравенств $N'_{я1} \le 0{,}75R_р h$ и $N'_{я2} \le 0{,}75R_р h$ ведет к образованию трещин по схеме *е* (рис. 7.9.3-1).

Здесь $N_{я1}$, $N_{я2}$, $N'_{я1}$, $N'_{я2}$ — величины нормальных напряжений на соответствующих площадках действия ядровых моментов.

Одновременное нарушение условия (7.9.3.3) и лишь одного из неравенств $N_{я1} \le 0{,}75R_р h$ и $N_{я2} \le 0{,}75R_р h$ или условий (7.9.3.4) и лишь одного из неравенств $N'_{я1} \le 0{,}75R_р h$ и $N'_{я2} \le 0{,}75R_р h$ указывает на образование трещин по схеме *ж* (рис. 7.9.3-1).

Проверка прочности

Известно, что угол наклона главных площадок может не совпадать с направлением развития трещин [13]. В связи с этим в комплексе **АРБАТ** совместно с проверкой армирования выполняется поиск площадок, где условия прочности могут быть нарушены в наибольшей степени. Пусть, например, такая площадка расположена под углом α к оси арматуры X и при этом предполагается, что арматура располагается параллельно осям X и Y декартовой координатной системы. Для простоты рассмотрим только случай, когда трещина в бетоне является несквозной и требуется лишь нижняя арматура (рис. 7.9.3-2).

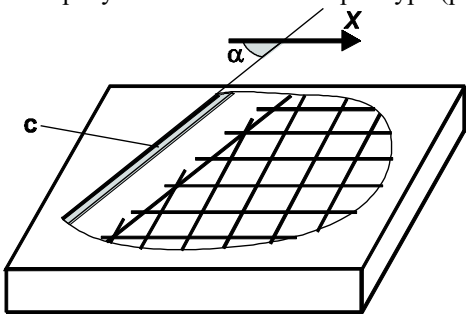


Рис. 7.9.3-2. *Схема к расчету на прочность*

Если выделить элементарную треугольную призму (рис. 7.9.3-3) и предположить, что арматура, передающая усилия в трещине, работает только на продольные силы (пренебречь нагельным эффектом), то составляя условия равновесия относительно осей 1 и 2, проходящих через центр сжатой зоны бетона параллельно осям X и Y, получим:

$$R_a F_{a,x} Z\sin\alpha = (M_x + N_x Z_b)\sin\alpha + (M_{yx} + N_{yx} Z_b)\cos\alpha;$$
$$R_a F_{a,y} Z\cos\alpha = (M_y + N_y Z_b)\cos\alpha + (M_{xy} + N_{xy} Z_b)\sin\alpha, \qquad (7.9.3.7)$$

где Z — плечо растянутой арматуры относительно центра тяжести сжатой зоны бетона, $F_{a,x}$ и $F_{a,y}$ — погонные площади арматуры по направлению X и Y, соответственно. Поскольку призма имеет единичную длину косой площадки, а все внутренние усилия представлены своими значениями на единицу длины, то в уравнения равновесия попадают длины площадок $1\times\sin\alpha$ и $1\times\cos\alpha$, с которых собирается общее усилие.

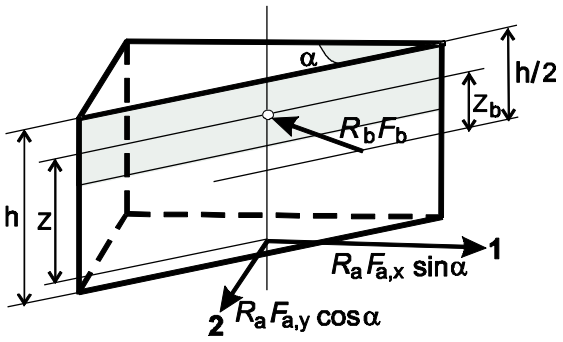


Рис. 7.9.3-3. *К определению напряжений в арматуре и бетоне на участке косой трещины:* схема усилий на площадке трещины

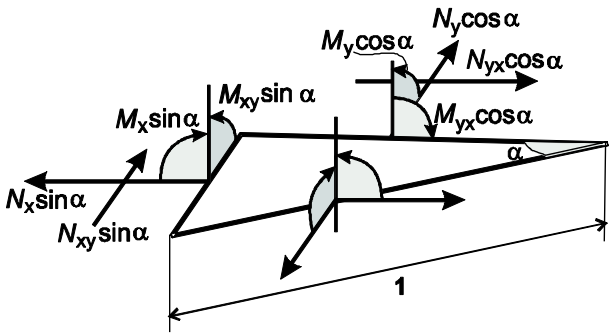


Рис. 7.9.3-4. *К определению напряжений в арматуре и бетоне на участке косой трещины:* схема моментов и продольных сил, приложенных к граням элементарной треугольной призмы

Нетрудно скорректировать эти уравнения на случай, когда имеется сжатая арматура. Тогда для оси X, например, мы придем к формуле

$$M_{x1} + \sigma' A'_{sx1} Z' - M_{bx1} \le 0, \qquad (7.9.3.8)$$

где M_{x1} — проекция моментов всех усилий на площадку, перпендикулярную оси X;

$$M_{x1} = (M_x + N_x Z_b) + (M_{yx} + N_{yx} Z_b)\mathrm{ctg}\alpha\ , \qquad (7.9.3.9)$$

$\sigma' A'_{sx1} Z'$ — момент усилий в арматуре, расположенной в сжатой зоне бетона и работающей на сжатие совместно с бетоном, относительно оси растянутой арматуры; M_{bx1} — момент усилий в сжатой зоне бетона относительно оси растянутой арматуры. Естественно, что при наличии сжатой арматуры уточняется величина сжатой зоны бетона (это делается в итерационном цикле) и соответствующим образом корректируется значение Z.

Абсолютно идентично определяется условие прочности для оси Y (простой заменой величин с нижним индексом *x* на соответствующие величины с нижним индексом *y*).

Для других случаев трещинообразования и схем армирования все рассуждения выполняются аналогично приведенным выше. Они подробно описаны в [13] и в программе **АРБАТ** используются при экспертизе элементов железобетонных конструкций и подборе арматуры.

Упомянутый ранее выбор расположения площадок, где условия прочности могут быть нарушены в наибольшей степени, реализуется прямым перебором углов α с шагом 7.5°. Выполненные сопоставительные расчеты показали, что использование меньшего шага сканирования не приводит к заметным изменениям результатов, но заметно замедляет вычисления.

Расчет на действие поперечных сил

При расчете пластин на действие поперечных сил **АРБАТ** производит два раздельных расчета – на действие Q_x и действие Q_y. При каждом из этих двух расчетов из пластины “вырезается” в соответствующем направлении полоса единичной ширины. Далее эта полоса рассчитывается на действие поперечной силы как изгибаемый элемент в соответствии с указаниями норм для стержневых элементов.

Если проанализировать метод расчета пластин на действие поперечных сил, то видно, что прочность определяется одной единственной величиной интенсивности $W = \dfrac{a_w}{s_x s_y}$ (a_w — площадь сечения одного стержня поперечной арматуры), то есть количеством поперечной арматуры на единицу площади.

При этом не имеет никакого значения, каковы конкретные значения диаметра арматуры и шагов — важно только, чтобы величина W была больше некоторого значения, которое обеспечивает выполнение неравенства типа $\frac{Q}{0.5 \cdot R_{bt} \cdot h_0 + W \cdot R_{sw} \cdot h_0} \le 1.$

При определении требуемого поперечного армирования *по сортаменту* программа подбирает тройку — диаметр (исходя из набора диаметров заданного класса арматуры и ограничения на максимальный диаметр) и два шага (из списка допустимых шагов) — такую, чтобы величина W была больше *расчетного* значения и давала минимальную интенсивность (минимизировала расход металла). При этом погонные интенсивности по направлениям W_x,W_y могут быть как меньше расчетных значений, так и значительно их превышать.

Определение ширины раскрытия трещин

Расчет по раскрытию трещин выполняется так же, как и при расчете по прочности, по одному из вариантов их образования.

Используются две предпосылки:

- на участке между смежными трещинами допустимо пренебречь изменением напряженного состояния;
- можно считать смежные трещины параллельными.

В соответствии с положениями В.И. Мурашева [14], положенными в основу действующего СНиП, принимается, что смежная трещина образуется на таком расстоянии l_{cr}, при котором напряжение в арматуре за счет сил сцепления с бетоном уменьшается с величины σ^T_a до σ^0_a, а усилия в бетоне возрастают от нуля у трещины до значений, вызывающих образование новой трещины. Предварительно определяются величины:

$$L_{crc,x} = (bh^2/3{,}5)(d_x/4)\eta\ \varphi_l / (A_{sx}Z)\cos\alpha;$$
$$L_{crc,y} = (bh^2/3{,}5)(d_y/4)\eta\ \varphi_l / (A_{sy}Z)\sin\alpha\ , \qquad (7.9.3.10)$$

где d_x и d_y - диаметры арматуры;

η — коэффициент, учитывающий профиль арматуры;

φ_l — коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки для различных видов бетона.

Среднее расстояние между трещинами L_{crc} определяется как максимальное из двух значений (7.9.3.10) поскольку максимум из них определяет область пластины, где полностью восстановлено сцепление арматуры с бетоном в двух направлениях.

В качестве погонной интенсивности армирования (площадь арматуры на единицу длины) A_{sx} и A_{sv} принимается значение для нижней или верхней (в зависимости от ситуации) арматуры соответствующего направления.

Напряжения в арматуре определяются по формуле:

$$\sigma_{sx} = M_x / (A_{sx}Z);\ \ \sigma_{sy} = M_y / (A_{sy}Z), \qquad (7.9.3.11)$$

где M_i — проекция моментов всех усилий, действующих на сечение, относительно оси соответствующей растянутой арматуры (i = x, y);

Z — плечо растянутой арматуры относительно центра тяжести сжатой зоны бетона;

A_{sx} и A_{sy} — площадь растянутой арматуры на единицу длины.

Ширина раскрытия трещин определяется по формуле:

$$a_{crc} = (\varepsilon_{sx} + \varepsilon_{sy})L_{crc}\ , \qquad (7.9.3.12)$$

где $\varepsilon_{sx} = (\sigma_{sx} * \psi_s) / E_s$ и $\varepsilon_{sy} = (\sigma_{sy} * \psi_s) / E_s$. Здесь ψ_s — коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона на участке с трещинами и определяемый согласно указаниям п. 4.29 СНиП.

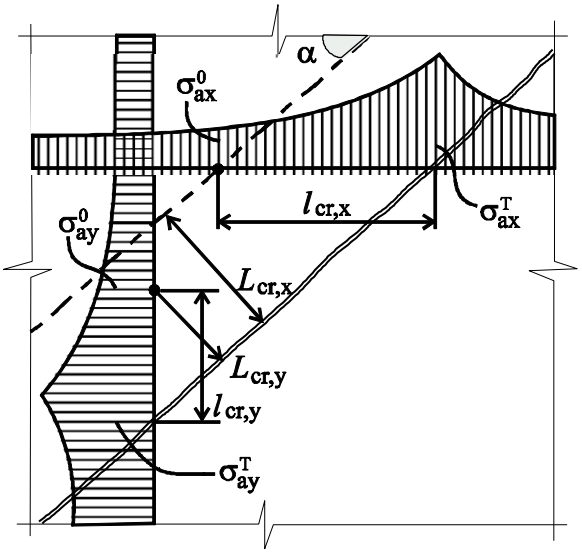


Рис. 7.9.3-5. *Фрагмент поверхности пластины с трещиной*.
Эпюры изменения растягивающих напряжений в арматуре
от значений σ^{T}_{ax} и σ^{T}_{ay} у трещины до значений σ^{0}_{ax} и σ^{0}_{ay} в месте образования новой трещины

Таким образом, ширина раскрытия трещин определяется через среднее расстояние между ними и напряжения в арматуре без использования полуэмпирической зависимости, приведенной в СНиП для стержневых элементов.

Общая схема алгоритма

В общем случае имеется необходимость определить значения для шести видов арматуры (рис. 7.9.3-6).

Предварительно определяется набор невыгодных сочетаний загружений. В этот набор входят внутренние усилия, создающие экстремальные значения нормальных напряжений на внешней и внутренней поверхностях, а также экстремальные значения касательных напряжений по направлению толщины пластины. Используются значения, относящиеся к средним точкам конечных элементов.

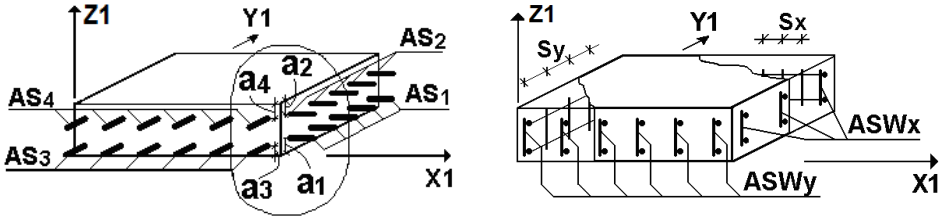


Рис. 7.9.3-6. *Схема армирования сечений конечного элемента плиты и оболочки*

Для каждого конечного элемента пластины перебором вариантов сочетаний проверяется прочность пластины (определяются ядровые моменты, находятся углы α, выясняется возможная схема трещинообразования и т. д.) и, если условия прочности не выполняются, увеличивается значение интенсивности армирования. Это выполняется до тех пор, пока не будут удовлетворены условия прочности или же не обнаружится, что обеспечить условия прочности не превосходя заданного максимального процента армирования невозможно, о чем выдается соответствующее сообщение.

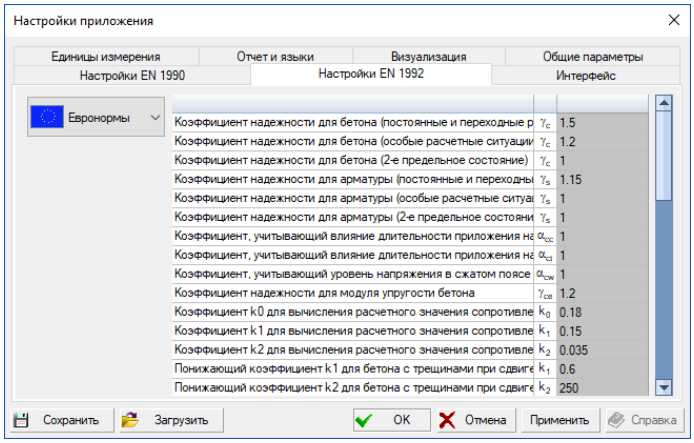
Далее для подобранного армирования выполняется (если это необходимо) проверка ширины раскрытия трещин. Если ширина раскрытия трещин превышает допустимую, площадь арматуры наращивается до тех пор, пока ширина раскрытия трещин не станет удовлетворительной. При подборе продольной и поперечной арматуры от действия каждого последующего сочетания учитывается арматура, подобранная от действия предыдущих сочетаний.

7.9.4 Особенности расчетов по EN 1992-1-1

Если в качестве норм проектирования выбран EN 1992-1-1, то при задании информации о бетоне требуется следующая информация:

- Класс бетона;
- Заполнитель бетона;
- Возраст бетона;
- Класс прочности цемента;
- Время развития ползучести;
- Температура T в течении периода развития ползучести;
- Количество суток, когда температура T преобладает;
- Относительная влажность воздуха;
- Дополнительный коэффициент условий работы.

Различные коэффициенты и частные коэффициенты безопасности берутся из соответствующих национальных приложений, выбор которых (и модификация допустимых этими приложениями параметров) может быть выполнен на странице **Настройки EN 1992** многостраничного окна **Настройки**.



Дополнительные коэффициенты условий работы бетона и арматуры позволяют изменить расчетные сопротивления материалов и используются совместно с оговоренными EN 1992-1-1 коэффициентами типа γ_s, α_{CC}, … Расчетные сопротивления *делятся* на эти дополнительные коэффициенты.

При расчете по EN 1992-1-1 не требуется информация о случайных эксцентриситетах и статической определимости. Учет геометрических несовершенств производится автоматически в соответствии с п. 5.2(9). Эффекты второго порядка учитываются методом, основанным на номинальной жесткости (п. 5.8.7). При этом в формуле (5.29) используется значение c_0=8, поскольку это идет в запас надежности, а кроме того, это значение применимо как в случае одноосного напряженного состояния, так и при косом изгибе (см. Примечание к п. 5.8.7.3(3)). Учет ползучести производится на основании рекомендаций Приложения B.

Анализ прочности нормальных сечений производится на основании диаграмм деформирования бетона и арматуры (п. 6.1). При этом используются билинейные диаграммы типа Прандтля (см. рис. 3.4, 3.8 EN 1992-1-1).

В отличии от СНиП при задании данных для анализа трещиностойкости задается только одна величина — максимальная ширина раскрытия трещин (п. 7.3.1(5)), которую пользователь должен задать сам (используя, например, таблицу 7.1N EN 1992-1-1). Расчет ширины раскрытия трещин производится только в случае одноосного напряженного состояния, поскольку EN 1992 рассматривает только случай растянутой

зоны прямоугольной формы. По этой же причине не реализован расчет ширины раскрытия трещин для круглых сечений.

Анализ работы пластинчатых элементов производится на основании теории Карпенко с использованием свойств материалов (бетона и арматуры), приведенных в EN 1992-1-1. При расчете плит на действие поперечных сил используются рекомендации EN 1992-1-1.

Проверка сечений стержневых элементов конструкций на соответствие требованиям EN 1992-1-1 выполняется по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на EN 1992-1-1**
Прочность по предельному моменту сечения	
Деформации в сжатом бетоне	п. 6.1(3)P
Деформации в растянутой арматуре	п. 6.1(3)P
Продольная сила при учете эффектов второго порядка	п. 5.8.7.3
Напряжение при образовании трещин	п. 7.1(2)
Ширина раскрытия трещин	п. 7.3.4
Сопротивление срезу при действии V_z без поперечной арматуры	п. 6.2.2
Сопротивление срезу при действии V_y без поперечной арматуры	п. 6.2.2
Сопротивление срезу при действии V_z с поперечной арматурой	п. 6.2.3
Сопротивление срезу при действии V_y с поперечной арматурой	п. 6.2.3
Прочность сечения при воздействии крутящего момента	п. 6.3.2 (4)
Сопротивление продольной арматуры крутящему моменту	п. 6.3.2 (4)
Сопротивление поперечной арматуры крутящему моменту	п. 6.3.2 (4)
Прочность при совместном действии поперечной силы и крутящего момента	п. 6.3.2(4)
Уровень напряжений в бетоне	п. 7.2
Уровень напряжений в арматуре	п. 7.2

Замечание. Фактор *Прочность по предельному моменту* представляет собой число, на которое следует разделить N, M_y, M_z, чтобы получить предельно допустимые значения деформаций бетона или арматуры.

Проверка пластинчатых элементов конструкций выполняется по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на EN 1992-1-1**
Прочность сечения плиты	
Сопротивление срезу при действии V_x без поперечной арматуры	п. 6.2.2
Сопротивление срезу при действии V_y без поперечной арматуры	п. 6.2.2
Сопротивление срезу при действии V_x с поперечной арматурой	п. 6.2.3
Сопротивление срезу при действии V_y с поперечной арматурой	п. 6.2.3
Возможность образования трещин	п. 7.1(2)
Ширина раскрытия трещин	

7.9.5 Особенности расчетов по ДБН В.2.6-98:2009

Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.6-98:2009 (ДСТУ Б В.2.6-156:2010), то следует отметить, что эти нормативные документы содержат огромное количество ошибок и они не согласованы с другими нормативными документами Украины, в частности, с ДБН В.1.2-2:2006.

Поскольку ДБН В.2.6-98:2009 и ДСТУ Б В.2.6-156:2010 созданы на основании EN 1992-1-1, то при программной реализации этих норм в тех случаях, когда возникают противоречия, программа использует соответствующие положения EN 1992-1-1.

7.9.6 Расчет круглых сечений

Формально имеющиеся в нормах проектирования правила расчета стержневых элементов на действие поперечных сил не содержат ограничений на форму поперечного сечения. Однако, использование параметров b и h_0 приводит к тому, что расчет элементов с круглым поперечным сечением теряет смысл.

Чтобы обойти эту проблему в программе используется следующий прием. Круглое сечение с радиусом R заменяется на квадрат по площади равновеликий кругу с радиусом R-a, где a — расстояние до центра тяжести арматуры. Аналогично производится расчет кольцевых сечений.

Отметим, что аналогичные рекомендации содержатся в п. 3.3 *Методических рекомендаций по проектированию и расчету подпорных стен из буронабивных свай*.

7.9.7 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе АРБАТ

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов		
	СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96	**СНиП 52-01-2003 СП 52-101-2003**	**СП 63.13330**
Класс бетона	табл. 12, 13 СНиП 2.03.01-84*	пп. 5.1.1–5.1.5, табл. 5.1–5.3 СП 51-101-2003 пп. 5.1.1–5.1.3 СНиП 52-01-2003	табл. 6.7, 6.8
Марка бетона	табл. 11, 13 СНиП II-21-75	табл. 11, 13 СНиП II-21-75	табл. 11, 13 СНиП II-21-75
Арматура	табл. 19, 22 СНиП 2.03.01-84*; ГОСТ 5781-82	пп. 5.3.1–5.3.3 СНиП 52-01-2003 пп. 5.2.1–5.2.3, табл. 5.7, 5.8 СП 51-101-2003	табл. 6.13, 6.14, 6.15
Коэффициенты условий работы	табл. 15–17 СНиП 2.03.01-84*	пп. 5.2.3, 5.4.3 СНиП 52-01-2003 пп. 5.1.9, 5.1.10, 5.2.6, 5.2.7 СП 51-101-2003	пп. 6.1.12, 6.2.9
Предельные прогибы	табл. 19, 21, 22 СНиП 2.01.07-85*	табл. 19, 21, 22 СНиП 2.01.07-85*	табл. Е.1, Е.3 СП 20.13330.2011
Сопротивление ж/б сечений	пп. 3.10–3.12, 3.15–3.20, 3.24, 3.26, 3.28, 3.30, 3.32 СНиП; пп. 3.1, 3.11–3.23, 3.50–3.54, 3.61–3.62, 3.64–3.68, 3.30–3.33, 3.40, 4.2–4.4, 4.7–4.9, 5.3, 4.11 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]	пп. 4.2.6, 5.1.3, 5.1.8–5.13, 5.1.17–5.1.22, 5.1.24, 5.2.3, 5.2.6–5.2.12, 6.2.1–6.2.3, 6.2.16, 6.2.21–6.2.34, 6.2.37, 7.1.2–7.1.3, 7.2.2–7.2.5, 7.2.11–7.2.12, 7.2.14, 7.2.15, 8.2.2 СП 52-101-2003; пп. 4.3, 5.2.1–5.2.4, 5.4.1–5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8–6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.4.1–6.4.5 СНиП 52-01-2003; пп. 3.29–3.35, 3.52, 3.71, 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 5.2.1, 5.2.2, 5.2.7-5.2.14, 6.1.1, 6.1.4, 6.1.10, 6.1.11, 6.1.15, 6.1.19-6.1.26, 6.2.8-6.2.15, 8.1.1-8.1.10, 8.1.14-8.1.30, 8.1.32-8.1.42,8.2.1-8.2.18, 10.2.2
Сопротивление бетонных сечений	пп. 1.21,3.1–3.5, 3.6, 3.8, 3.30, 3.32 СНиП 2.03.01-84*; пп. 3.54, 5.3, 4.4 Пособия к СНиП 2.03.01-84*.	пп. 4.1.2, 4.2.6, 5.1.3, 5.1.8–5.1.13, 5.1.17–5.1.22, 5.1.24, 6.1.2, 6.1.7, 6.1.8, 6.1.11, 6.2.16, 6.2.21–6.2.31, 8.2.2 СП 52-101-2003; пп. 5.2.1–5.2.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.5, 6.2.6 СНиП 52-01-2003; пп. 3.29–3.35, 3.52, 3.71, 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 5.2.1-5.2.6, 7.1.1-7.1.12, 10.2.2

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов		
	СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96	**СНиП 52-01-2003 СП 52-101-2003**	**СП 63.13330**
Прогиб балки	пп. 4.24, 4.27–4.31 СНиП 2.03.01-84*; пп. 4.12–4.19, 4.21, 4.22 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]	пп. 5.1.3, 5.1.8–5.1.13, 5.1.17–5.1.23, 5.2.3, 5.2.6–5.2.12, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.21–6.2.34, 7.1.2–7.1.3, 7.2.5, 7.2.11, 7.3.1, 7.3.3, 7.3.4, 7.3.7, 7.3.8, 7.3.16 СП 52-101-2003; пп. 5.2.1–5.2.4, 5.4.1–5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.10, 6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.5.1, 6.5.3, 6.5.4 СНиП 52-01-2003; пп. 4.17, 4.18, 4.20–4.22, 4.27, 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 8.2.21-8.2.32
Экспертиза балки	пп. 3.10–3.12, 3.15–3.18, 3.30, 3.32 СНиП 2.03.01-84*; пп. 3.1, 3.11–3.23, 3.30–3.33, 3.40, 4.2–4.4, 4.7–4.9, 4.11 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]	пп. 6.2.1, 6.2.2-6.2.14, 6.2.21–6.2.35, 7.1.2–7.1.3, 7.2.2–7.2.5, 7.2.11–7.2.15 СП 52-101-2003; пп. 4.3, 5.2.1–5.2.4, 5.4.1–5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.10, 6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.4.1 – 6.4.5 СНиП 52-01-2003; п. 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 8.1.8-8.1.13, 8.1.20-8.1.35
Экспертиза колонны	пп. 3.10–3.12, 3.19–3.20, 3.24, 3.26, 3.28, 3.30, 3.32 СНиП 2.03.01-84*; пп. 3.1, 3.50–3.54, 3.61–3.62, 3.64–3.68, 3.30–3.33, 3.40, 4.2–4.4, 4.7–4.9, 5.3, 4.11 Пособия к СНиП 2.03.01-84 [7]	пп. 4.2.6, 6.2.1–6.2.3, 6.2.15-6.2.20, 6.2.21–6.2.34, 7.1.2–7.1.3, 7.2.2–7.2.5, 7.2.11–7.2.15, 8.2.2 СП 52-101-2003; пп. 4.3, 5.2.1–5.2.4, 5.4.1–5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8–6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.4.1–6.4.5 СНиП 52-01-2003; пп. 3.29–3.35, 3.52, 3.71, 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 8.1.1-8.1.19, 8.1.20-8.1.35, 8.1.41
Экспертиза плиты	пп. 2.3, 2.12–2.14, 2.17, 2.26, 2.30, 4.1, 4.2, 4.5, 4.13, 4.14, 5.3, 5.5, 5.16 СНиП 2.03.01-84*; пп. 18, 19; пп. 6.19, 6.23, 6.29, 6.37, 6.40, 6.42–6.44, 6.46, 6.49, 6.50 Пособия к СНиП 2.03.01-84*[7]	пп.5.1.3, 5.1.8, 5.1.9, 5.1.13, 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.6, 5.2.10, 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3, 8.3.4 СП 52-101-2003; пп. 18, 19 Инструкции [6]	пп. 8.1.53-8.1.59
Подбор арматуры в балке	пп. 3.10–3.12, 3.15–3.18, 3.30, 3.32 СНиП 2.03.01-84*; пп. 3.1, 3.11–3.23, 3.30–3.33, 3.40, 4.2–4.4, 4.7–4.9, 4.11 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]	пп. 6.2.1, 6.2.2-6.2.14, 6.2.21–6.2.35, 7.1.2–7.1.3, 7.2.2–7.2.5, 7.2.11–7.2.15 СП 52-101-2003; пп. 4.3, 5.2.1 – 5.2.4, 5.4.1 – 5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8, 6.2.10, 6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.4.1 – 6.4.5 СНиП 52-01-2003; п. 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 8.1.8-8.1.13, 8.1.20-8.1.35

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов		
	СНиП 2.03.01-84*, КМК 2.03.01-96	**СНиП 52-01-2003 СП 52-101-2003**	**СП 63.13330**
Подбор арматуры в колонне	пп. 3.10–3.12, 3.19–3.20, 3.24, 3.6, 3.28, 3.30, 3.32 СНиП 2.03.01-84*; пп. 3.1, 3.30–3.33, 3.40, 3.50–3.54, 3.61–3.62, 3.64–3.68, 4.2–4.4, 4.7–4.9, 4.11 Пособия к СНиП 2.03.01-84*	пп. 4.2.6, 6.2.1–6.2.3, 6.2.15-6.2.20, 6.2.21–6.2.34, 7.1.2–7.1.3, 7.2.2–7.2.5, 7.2.11–7.2.15, 8.2.2 СП 52-101-2003; пп. 4.3, 5.2.1–5.2.4, 5.4.1–5.4.4, 6.1.6, 6.2.1, 6.2.8–6.2.11, 6.2.13, 6.3.1, 6.3.4, 6.4.1–6.4.5 СНиП 52-01-2003; пп. 3.29-3.35, 3.52, 3.71, 4.28 Пособия к СП 52-101-2003	пп. 8.1.1-8.1.19, 8.1.20-8.1.35, 8.1.41
Местное сжатие	пп. 3.39–3.41 СНиП 2.03.01-84*; п. 3.94 Пособия к СНиП 2.03.01-84*	пп. 6.2.43–6.2.45 СП 52-101-2003	пп. 8.1.43-8.1.45
Продавливание	пп. 3.42, 5.29 СНиП 2.03.01-84*; п. 3.98 Руководства [11]	пп. 6.2.46–6.2.52 СП 52-101-2003	пп. 8.1.46-8.1.51
Отрыв	п. 3.43 СНиП 2.03.01-84*; п. 3.97 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]; п. 3.121 Руководства к СНиП 2.03.01-84* [10]		
Закладные детали	пп. 3.44–3.46 СНиП 2.03.01-84*		п. 10.3.24 СП, пп. 4.2-4.12 Рекомендаций
Короткие консоли	п. 3.34 СНиП 2.03.01-84*; п. 3.99 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]		приложение Ж
Расчет бетонных шпонок	п.3.115 Пособия к СНиП 2.03.01-84* [7]		приложение Е

7.10 Литература

[1] Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия – М.: Госстройиздат, 1949.

[2] Дубинский А.М. Расчет несущей способности железобетонных плит – К.: Госстройиздат УССР, 1976 – 160 с.

[3] Кузнецов В.С., Талызова Ю.Ф. Расчет прочности плит монолитного безбалочного перекрытия по методу предельного равновесия // Вестник МГСУ, 2013, №7 – С. 51-57.

[4] Ржаницын А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек – М.: Наука, 1983 – 288 с.

[5] Справочник по теории упругости (для инженеров строителей), под ред. П.М. Варвака и А.Ф. Рябова – К.: Будивэльнык, 1971 – 418 с.

[6] Инструкция по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений в г. Москве. – Правительство Москвы: МОСКОМАРХИТЕКТУРА, 2001, 146 с.

[7] Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84*) / ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1986. – 188 с.

[8] Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 87 с.

[9] Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. М. – Стройиздат, 1984. – 37 с.

[10] Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения) / ГПИ Ленингр., Промстройпроект Госстроя СССР, ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 175 с.

[11] Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-В.2-71) / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. М. – Стройиздат, 1974. – 183 с.

[12] Шашкин К. Г., Использование упрощенных моделей основания для решения задач совместного расчета основания и конструкций сооружения. (http://www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm)

[13] Карпенко Н.И., Теория деформирования железобетона с трещинами. — М.: Стройиздат, 1976.

[14] Мурашев В.И., Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. — М.: Машстройиздат, 1950.

8. Программа Камин

Программа **Камин** предназначена для выполнения конструктивных расчетов и проверок элементов каменных и армокаменных конструкций на соответствие требованиям СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, СП 15.13330 [134], EN 1996-1-1, ДБН В.2.6-162:2010.

При использовании СНиП (ДБН) предполагается, что расчетные усилия соответствуют нагрузкам, определенным по СНиП 2.01.07-85* (ДБН В.1.2.2-2006), требованиям этих же документов соответствуют реализованные в программе правила выбора расчетных сочетаний усилий. Везде в программе предполагается, что заданы ***расчетные значения нагрузок*** (***характеристические*** при использовании EN 1996-1-1).

При создании программы **Камин** использовались связанные со СНиП II-22-81 и предыдущей редакцией норм проектирования документы, а именно — Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) [2], Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-В.2-71) [4], Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений [3], Справочник проектировщика Каменные и армокаменные конструкции [5], книга П.Ф.Вахненко [1], СП 427.1325800.2018.

В состав проверяемых элементов включены центрально и внецентренно нагруженные столбы различного поперечного сечения в плане, рядовые, клинчатые и арочные каменные, а также железобетонные балочные перемычки, наружные и внутренние стены зданий с проемами и без проемов, стены подвалов.

Кроме проверки общей прочности и устойчивости элементов выполняется экспертиза местной прочности в местах опирания балок, прогонов и других элементов на стены и столбы.

Экспертиза выполняется как для неповрежденных конструктивных элементов, так и для элементов, имеющих трещины в каменной кладке и огневые повреждения вследствие воздействия температуры (например, в результате пожара).

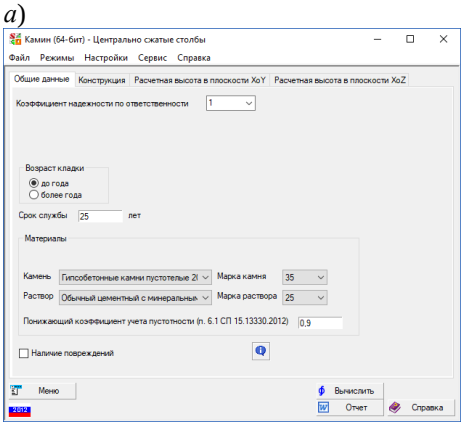
Решается задача проверки несущей способности центрально и внецентренно нагруженных элементов, усиленных стальными обоймами, а также стен, ослабленных дополнительно образованными проемами.

Также решается задача детальной экспертизы мест опирания балок, плит и ферм на каменные (в некоторых режимах и на армокаменные) стены и столбы. Проверяется прочность висячих стен в зонах опирания фундаментных балок на неподвижные опоры.

Кроме указанных функций программа **Камин** выполняет, в определенной степени, и роль справочника, с помощью которого можно уточнить некоторые фактические данные относительно применяемых материалов, рекомендаций СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 и СП 15.13330, а также оценки величины и характера дефектов для поврежденных конструкций. Для этого используются специальные справочные режимы (см. ниже). В некоторых диалоговых окнах для получения дополнительной информации справочного характера используется кнопка .

8.1 Общие данные

а)



б)

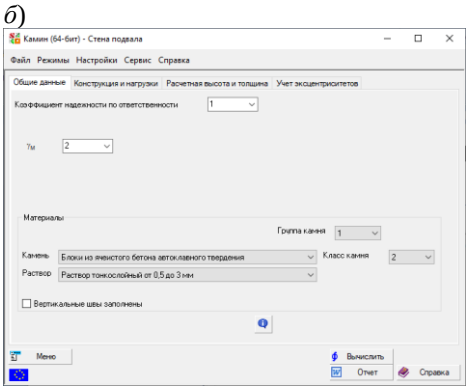


Рис. 8.1-1. *Страница* **Общие данные** *а)* EN 1996-1-1*; б)* ДБН

Во всех режимах работы программы (за исключением информационных) необходимо задать материал, из которого изготовлен тот или иной элемент конструкции. Для этого на странице **Общие данные** из выпадающих списков следует выбрать тип и марку камня, а также тип и марку раствора (рис. 8.1-1 *а)* EN 1996-1-1*; б)* ДБН).

Кроме того, здесь же задаются: коэффициент надежности по ответственности, срок службы конструкции, возраст кладки (до года или более года), а для некоторых режимов — время строительства (летнее или зимнее).

При расчетах по СП 15.13330 кладки из пустотелого кирпича имеется возможность дополнительно задать понижающий коэффициент согласно п. 6.1 данного нормативного документа.

При использовании EN 1996-1-1 и ДБН следует выбрать из выпадающего списка группу камня и задать коэффициент γ_M — частный коэффициент безопасности для показателя элемента конструкции с учетом погрешностей модели и отклонений величин. Кроме того, требуется указать (с помощью одноименного маркера) заполнены ли вертикальные швы.

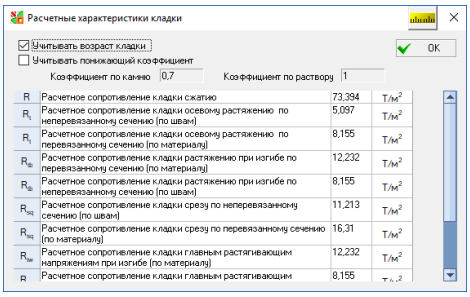


Рис. 8.1-2. *Диалоговое окно* **Расчетные характеристики кладки**

Кнопка открывает диалоговое окно с информацией о расчетных характеристиках применяемой кладки (рис. 8.1-2).

В этом окне можно получить также информацию о коэффициентах условий работы кладки и с помощью маркеров задать условия, при которых вычисляются расчетные сопротивления.

Следует помнить, что коэффициенты условий работы являются понижающими коэффициентами к расчетному сопротивлению кладки.

В заголовке окна расположена кнопка , нажатие которой открывает диалоговое окно для оперативной настройки единиц измерения.

Если конструкция имеет повреждения, то на странице **Общие данные** следует активировать соответствующий маркер (см. рис. 8.1-1), после чего становится доступной страница **Повреждения** для ввода данных о повреждениях.

8.2 Ограничения реализации

Каждая группа режимов и отдельные режимы имеют свои ограничения реализации (при расчетах по СНиП), которые приводятся при их описании. Приняты следующие общие ограничения для всех режимов:

- рассматриваются только сплошные кладки;
- рассматриваются кладки в оконченном виде (свежие и не набравшие прочность кладки не рассматриваются);
- не рассматриваются кладки высшего качества (кладки под рейку), для которых не вводятся понижающие коэффициенты к расчетным сопротивлениям.

Ограничения по применяемым камням — не рассматриваются камни следующих видов:

- камни с высотой ряда от 200 до 300 мм и с высотой ряда в промежутке от 150 до 200 мм;
- грунтовые камни;
- сырцовый кирпич.

Ограничения по технологии производства работ — не рассматриваются:

- виброкирпичная кладка;
- кладка методом замораживания;
- бутобетон.

Ограничения по применяемым растворам — применяются только тяжелые растворы (цементные, жесткие, с органическими пластификаторами, с добавками поташа).

8.3 Материалы

В программе рассматриваются элементы конструкций, выполненные из следующих материалов:

СНиП, КМК, СП	**EN, ДБН**
Камни	
• кирпич глиняный пластического прессования Н=65 мм; • кирпич силикатный сплошной Н=88 мм; • кирпич силикатный сплошной Н=65 мм; • силикатный пустотелый кирпич Н = 88 мм; • силикатный камень Н = 138 мм; • керамические камни Н ≤ 150 мм; • бетонные камни 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм; • бетонные камни из крупнопористых бетонов и ячеистых бетонов по ГОСТ 25485-82 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм; • бетонные камни из ячеистых бетонов вида Б по СНиП 2.03.01-84* 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм; • гипсобетонные камни сплошные 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм; • гипсобетонные камни пустотелые 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм; • шлакобетонные камни сплошные 200 мм ≤ Н ≤ 300 мм;	• блоки глиняной кладки; • силикатные блоки; • блоки бетонной кладки из заполнителей (плотные и легкие заполнители); • блоки из ячеистого бетона автоклавного твердения; • бетонные блоки заводского изготовления; • блоки из природного камня.

• шлакобетонные камни сплошные на угольных шлаках 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • шлакобетонные камни пустотелые 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • шлакобетонные камни пустотелые на угольных шлаках 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни низкой прочности (пиленые и чистой тески) H ≤ 150 мм; • природные камни низкой прочности (получистой тески) H ≤ 150 мм; • природные камни низкой прочности (грубой тески) H ≤ 150 мм; • природные камни нормальной прочности (пиленые и чистой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни нормальной прочности (получистой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни нормальной прочности (грубой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни низкой прочности (пиленые и чистой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни низкой прочности (получистой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • природные камни низкой прочности (грубой тески) 200 мм ≤ H ≤ 300 мм; • постелистый бут; • рваный бут; • крупные бетонные блоки высотой 500–1000 мм.	
Растворы	
• обычный цементный с минеральными пластификаторами; • жесткий цементный; • цементный с органическими пластификаторами; • цементный с добавками поташа.	• раствор общего назначения; • легкий раствор с плотностью от 600 до 800 кг/м^3; • легкий раствор с плотностью от 800 до 1300 кг/м^3; • раствор тонкослойный от 0,5 до 3 мм

8.4 Повреждения

При экспертизе каменных и армокаменных конструкций в программе **Камин** предусмотрен учет механических и огневых повреждений. Повреждения классифицированы и задаются в соответствии с требованиями Рекомендаций [3] и СП 427.1325800.2018. Информация о повреждениях задается на одноименной странице (рис. 8.4-1).

При наличии механических повреждений следует активировать соответствующий маркер и выбрать из списка тип повреждения. Предусмотрены следующие типы повреждений:

- трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы;
- волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15–18 см);

- волосные трещины, пересекающие не более четырех рядов кладки (длиной до 30–35 см), при количестве трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины);
- трещины с раскрытием до 2 мм, пересекающие не более восьми рядов кладки (длиной до 60–65 см), при количестве трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины);

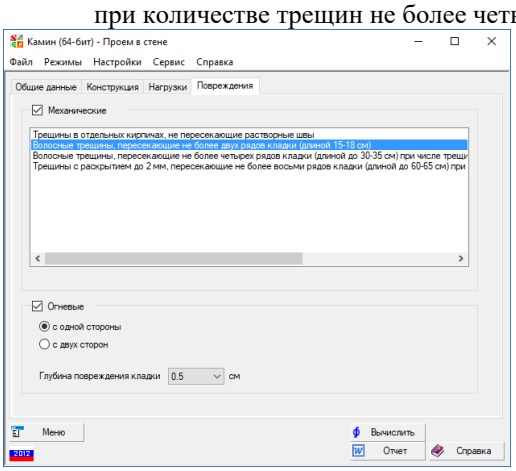


Рис. 8.4-1. *Страница* **Повреждения**

- трещины с раскрытием до 2 мм при пересечении более восьми рядов кладки (длиной более 65 см);
- местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см (мелкие трещины, отслоения в виде площадок) и образование вертикальных трещин по концам опор балок, ферм и перемычек, пересекающих не более двух рядов кладки (длиной до 15–18 см);
- местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см (мелкие трещины, отслоения в виде площадок) и образование вертикальных трещин по концам опор балок, ферм и перемычек, пересекающих не более четырех рядов кладки (длиной до 30–35 см);
- краевое повреждение кладки на глубину более 2 см и образование вертикальных трещин и косых трещин по концам и под опорами балок и ферм, пересекающих более четырех рядов кладки (длиной более 30 см).

При наличии огневых повреждений следует активировать одноименный маркер и выбрать тип и глубину огневого повреждения кладки.

Наличие повреждений учитывается программой изменением геометрических размеров конструктивного элемента (для случая огневых повреждений) и снижением расчетного сопротивления кладки.

8.5 Вычисление эксцентриситета

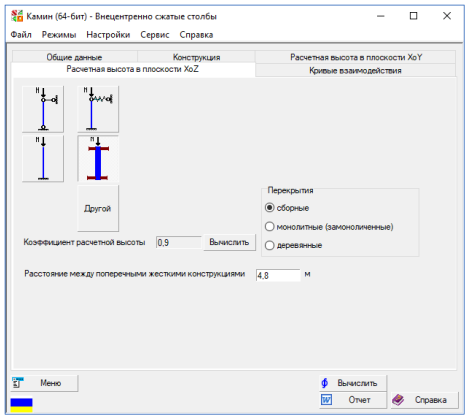


Рис. 8.5-1. *Расчет внецентренно сжатых столбов*

При использовании СНиП расчет внецентренно сжатых элементов каменных конструкций выполняется по формуле (7.4) из СП 15.13330.2020, в которую входит значение эксцентриситета e_0 расчетной силы N относительно центра тяжести сечения. Этот эксцентриситет определяется эпюрой моментов, которые возникают в элементе кладки от действия сосредоточенного момента M, приложенного в верхнем сечении.

Программа предусматривает четыре варианта расчетной схемы (рис.8.5-1) и для каждого из них следует знать расчетную высоту стены или столба l_0 (коэффициент расчетной длины μ) и эпюру моментов.

В трех случаях расчетная схема указана явно, и эпюра моментов определяется элементарно, соответствующие решения представлены на рис. 8.5-2.

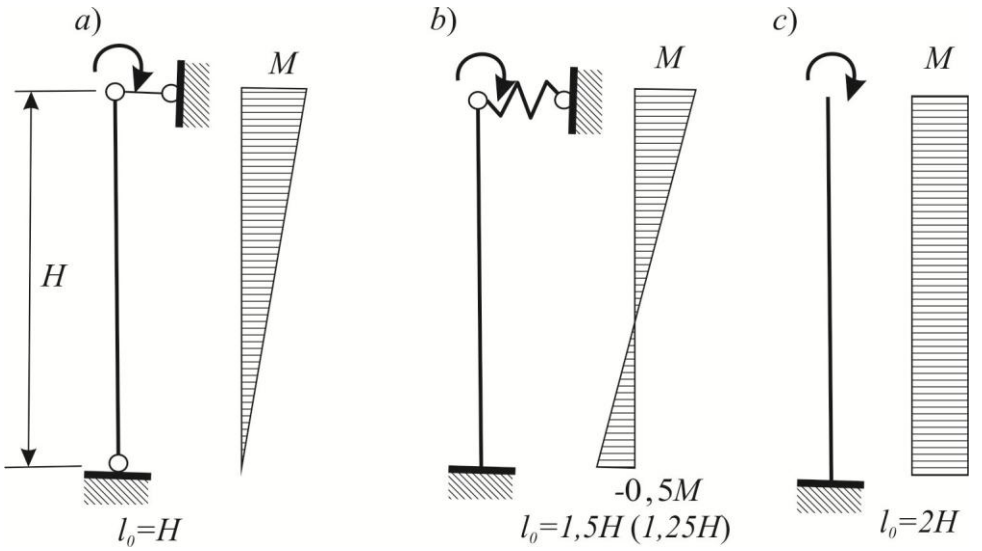


Рис. 8.5-2

В случае «*b*» коэффициент расчетной длины принимается равным μ=1,5 для однопролетных зданий и μ=1,25 для многопролетных зданий.

Если же выбран вариант «Другой» и пользователь задал некоторое значение μ коэффициента свободной длины, то степень защемления в опорных сечениях необходимо согласовать с указанным значением μ. Для того чтобы сделать это, рассмотрим расчетную схему стержня, концы которого упруго защемлены пружинами с жесткостью *k* (рис. 8.5-3,*a*). Коэффициент расчетной длины такого стержня определяется формулой (см. СП 16.13330, стр. 146 или ДБН В.2.6-163: 2000, стр. 182):

$$\mu = 0,5\sqrt{\frac{(\alpha+4,8)(\alpha+4,8)}{(\alpha+2,4)(\alpha+2,4)}},\quad \alpha = \frac{kH}{EJ}.$$

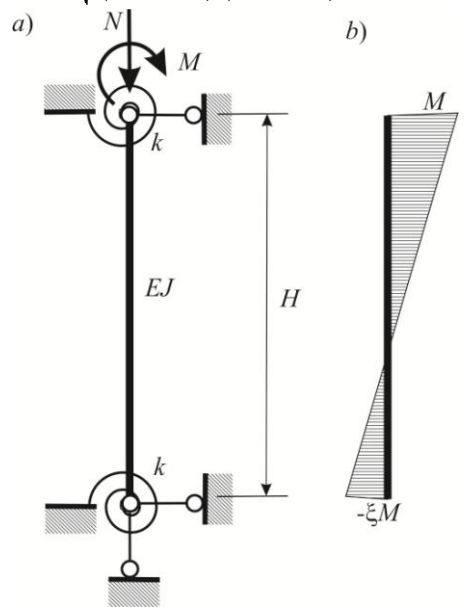


Рис. 8.5-3

Следовательно, если задана величина коэффициента μ, то жесткость защемления *k* определится как:

$$2\mu = \frac{(\alpha + 4{,}8)}{(\alpha + 2{,}4)}; \quad 2\mu\alpha + 4{,}8\mu = \alpha + 4{,}8;$$

$$\alpha = \frac{4{,}8(1-\mu)}{2\mu - 1}; \quad k = \alpha\left(EJ/H\right) = \frac{4{,}8EJ\,(1-\mu)}{H\,(2\mu - 1)}.$$

Для такого стержня эпюра моментов характеризуется коэффициентом ξ (см. рис. 8.5-3.*b*) который определяется по формуле:

$$\xi = \frac{2EJ\,/\,H}{k + 4EJ\,/\,H} = \frac{2}{\alpha + 4} = \frac{(2\mu - 1)}{2{,}4(1-\mu) + 2(2\mu - 1)} = \frac{2\mu - 1}{1{,}6\mu + 0{,}4}.$$

8.6 Расчетная высота и толщина (EN 1996, ДБН)

При использовании EN 1996 или ДБН данные о расчетной высоте и толщине задаются на отдельной странице (рис. 8.6-1). На этой1 странице следует выбрать тип перекрытий/покрытий (железобетонные или деревянные) и с помощью соответствующих маркеров указать наличие закреплений по вертикальным краям.

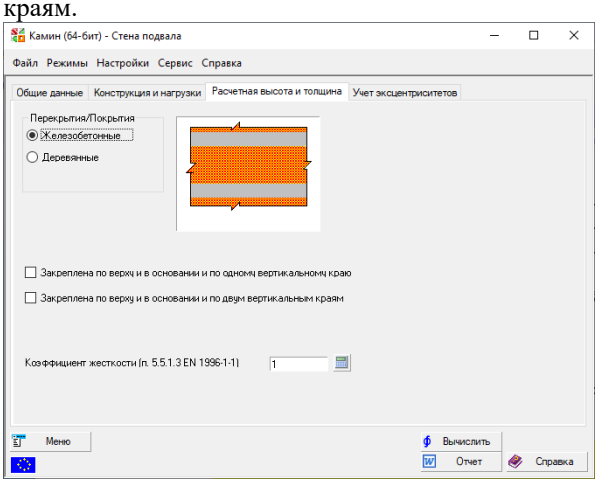


Рис. 8.6-1. *Диалоговое окно* **Расчетная высота и толщина**

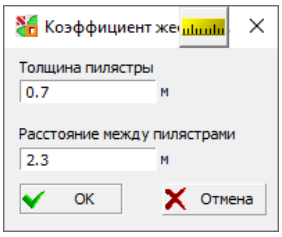


Рис. 8.6-2. Коэффициент жестости п. 5.5.1.3 EN 1996-1-1

Отметим, что рекомендации EN 1996-1-1 покрывают не все возможные конструктивные решения. В этих случаях в расчете предполагается, что коэффициент расчетной высоты равен 1,0.

На этой странице следует также указать коэффициент жесткости (см. п. 5.5.1.3 EN 1996-1-1) используемый при вычислении расчетной толщины стен, усиленный пилястрами. По умолчанию, этот коэффициент равен 1.0 (что предполагает отсутствие пилястр). С помощью кнопки можно активировать диалоговое окно (рис. 8.6-2) и задать в нем толщину пилястры и расстояние между ними, и вычисление коэффициента жесткости программа произведет на основании таблицы 5.1 EN 1996-1-1.

8.7 Учет эксцентриситетов (EN 1996, ДБН)

На отдельной странице задаются данные о примыкающих к рассматриваемой стене перекрытиях и других стенах (рис. 8.7-1).

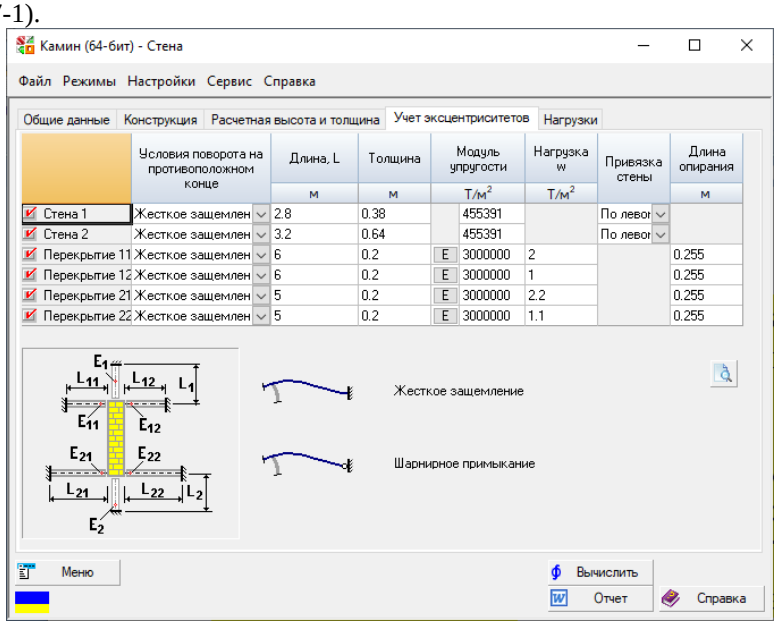


Рис. 8.7-1. *Диалоговое окно* **Учет эксцентриситетов**

В общем случае возможно примыкание двух стен (сверху и снизу) и четырех перекрытий (справа и слева, сверху и снизу). Наличие или отсутствие каждого из этих элементов указывается соответствующим маркером.

Для стен и перекрытий следует ввести данные о длине, толщине и модуле упругости. Для перекрытий кнопка **E** в таблице вызывает меню, в котором, выбирается класс бетона и программа автоматически заносит величину модуля упругости (для деревянных перекрытий информация о модуле упругости не требуется). Для верхней или нижней стены при нажатии этой кнопки будет назначен модуль упругости рассчитываемой стены.

Кроме того, для примыкающих стен в выпадающем списке нужно выбрать привязку (центрально, по левому или по правому краю). Для перекрытий задается также длина опирания и величина равномерно распределенной нагрузки.

Программа автоматически произведет вычисление соответствующих моментов, действующих в верхней и нижней части рассчитываемой стены и эксцентриситет приложений ясил на основании Приложения С EN 1996-1-1.

Кнопка позволяет в отдельном окне увидеть эскиз конструкции и данные о вычисленных моментах (рис. 8.7-2).

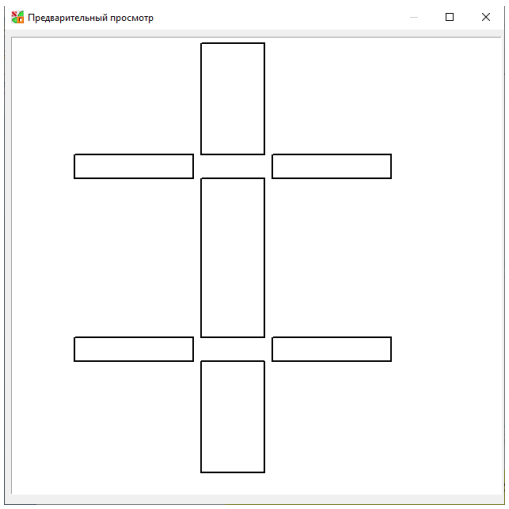
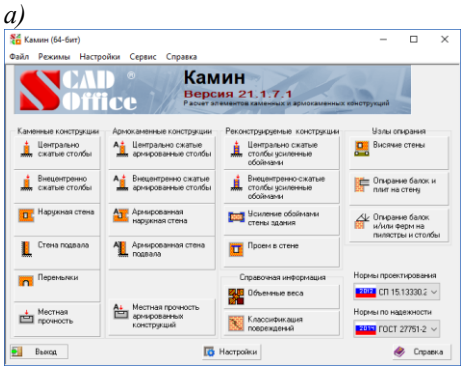


Рис. 8.7-2. Эскиз конструкции

8.8 Главное окно программы Камин

а)



б)

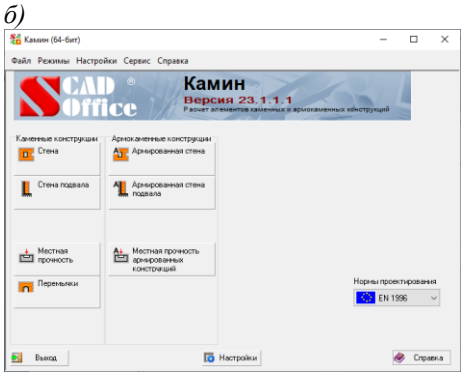


Рис. 8.8-1. *Главное окно* программы **Камин**
а) EN 1996-1-1*; б)* ДБН

При обращении к программе первым появляется главное окно (рис. 8.8-1 *а)* EN 1996-1-1*; б)* ДБН). В этом окне выбирается режим работы. Режимы можно условно разделить на пять групп, в четырех из которых выполняется экспертиза (**Каменные конструкции**, **Армокаменные конструкции**, **Реконструируемые конструкции, Узлы опирания**), а пятая является справочной (**Справочная информация**). Детальное описание групп приводится в последующих разделах. Здесь даны только краткие характеристики.

8.8.1 Каменные конструкции

Режимы этой группы предназначены для экспертизы отдельных конструктивных элементов каменных конструкций. К таким элементам отнесены:

- центрально сжатые столбы;
- внецентренно сжатые столбы;
- наружные стены;
- стены подвалов;
- перемычки.

Кроме того, выполняются проверки местной прочности в местах опирания балок и др.

Каждый из перечисленных конструктивных элементов рассматривается в пределах одного этажа здания.

Режимы **Центрально сжатые столбы** и **Внецентренно сжатые столбы** предназначены для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания центрально сжатых и внецентренно сжатых столбов.

Режим **Наружная стена** предназначен для проверки прочности и устойчивости наружной стены здания, в том числе имеющей проемы.

Режим **Стена подвала** предназначен для проверки прочности и устойчивости стены подвала здания.

Режим **Перемычки** предназначен для проверки прочности и устойчивости перемычек, в том числе имеющих затяжки.

Режим **Местная прочность** предназначен для проверки местной прочности в местах опирания балок, прогонов и других элементов на стены и столбы.

8.8.2 Армокаменные конструкции

Режимы этой группы предназначены для экспертизы отдельных конструктивных элементов армокаменных конструкций. В число таких элементов включены:

- центрально сжатые армированные столбы;
- внецентренно сжатые армированные столбы;
- армированные наружные стены здания;
- армированные стены подвала.

Кроме того, предусмотрена проверка местной прочности армированных конструкций.

Каждый из перечисленных конструктивных элементов рассматривается в пределах одного этажа здания.

Режимы **Центрально сжатые армированные столбы** и **Внецентренно сжатые армированные столбы** предназначены для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания армокаменных центрально сжатых и внецентренно сжатых столбов.

Режим **Армированная наружная стена** предназначен для проверки прочности и устойчивости армокаменной наружной стены здания, в том числе имеющей проемы.

Режим **Армированная стена подвала** предназначен для проверки прочности и устойчивости армокаменной стены подвала здания.

Режим **Местная прочность армированных конструкций** предназначен для проверки местной прочности в местах опирания балок, прогонов и других элементов на армокаменные стены и столбы.

8.8.3 Реконструируемые конструкции

Режимы этой группы предназначены для экспертизы отдельных конструктивных элементов каменных конструкций, в том числе поврежденных, усиленных стальными обоймами. В число таких элементов включены:

- центрально сжатые столбы, усиленные обоймами;
- внецентренно сжатые столбы, усиленные обоймами;
- усиление обоймами стен здания;
- проёмы в стене.

Режимы **Центрально сжатые столбы**, **усиленные обоймами** и **Внецентренно сжатые столбы, усиленные обоймами** предназначены для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания каменных центрально сжатых столбов и внецентренно сжатых столбов, усиленных стальными обоймами.

Режим **Усиление обоймами стены здания** предназначен для проверки прочности и устойчивости участка каменной стены без проёмов, усиленной стальными обоймами в пределах высоты этажа.

Режим **Проём в стене** предназначен для проверки прочности и устойчивости каменной кладки и (или) стальной перемычки над образованным проёмом в существующей сплошной стене.

8.8.4 Узлы опирания

Режимы этой группы предназначены для детальной экспертизы мест опирания балок, плит и ферм на каменные (в некоторых режимах и на армокаменные) стены и столбы. Также проверяется прочность висячих стен в зонах опирания фундаментных балок на неподвижные опоры.

По существу, в этих режимах проверяется местная прочность узлов опирания, при этом учитываются особенности конструктивных решений мест опирания и статическая схема конструкций.

В число таких элементов включены:

- висячие стены;
- опирание балок и плит на стену;

- опирание балок и/или ферм на пилястры и столбы.

Режим **Висячие стены** предназначен для проверки местной прочности висячей стены при опирании ее на фундаментную балку в зонах, примыкающих к опорам фундаментной балки.

Режим **Опирание балок и плит на стену** предназначен для проверки местной прочности каменной кладки в местах опирания балок и плит на стены.

Режим **Опирание балок и/или ферм на пилястры и столбы** предназначен для проверки местной прочности каменной/армокаменной кладки в местах опирания балок и/или ферм на пилястры и столбы. Опирающаяся конструкция — одиночная балка/ферма с прямоугольной пятой опирания.

Справочная информация содержит **объёмные веса кладок** из кирпича, природных и искусственных камней на тяжелых растворах, а также **классификации повреждений** каменной кладки в соответствии с Рекомендациями [3] и СП 427.1325800.2018.

8.9 Каменные конструкции

8.9.1 Центрально сжатые столбы

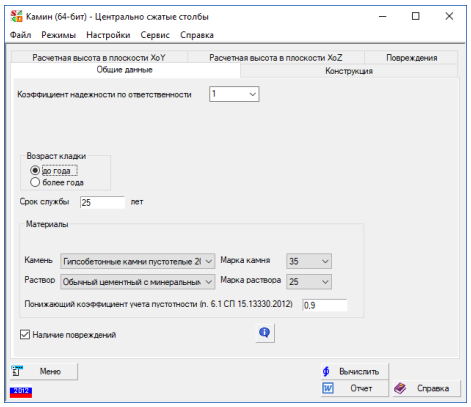


Рис. 8.9.1-1. *Страница* **Общие данные**

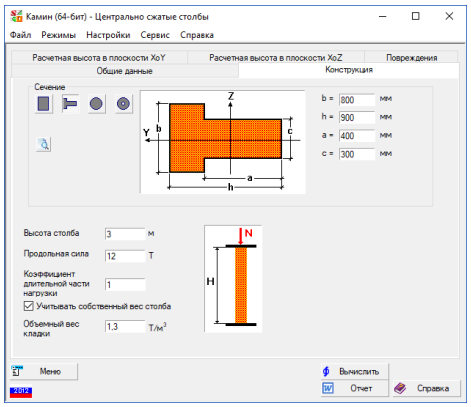


Рис. 8.9.1-2. *Страница* **Конструкция**

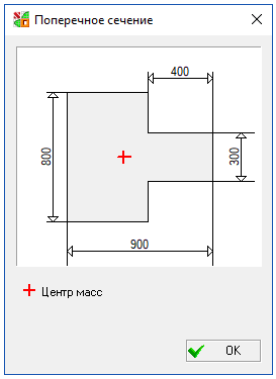


Рис. 8.9.1-3. Схема сечения

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания центрально сжатых столбов. Реализуются требования пп. 4.1–4.4 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.1-7.4 СП 15.13330). Несущая способность проверяется в наиболее опасном нижнем сечении. Столбы приняты постоянного по высоте поперечного сечения. Реализованы прямоугольные, тавровые, круглые и кольцевые поперечные сечения.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;
- **Повреждения**.

Страница **Общие данные** (рис. 8.9.1-1) содержит общие данные о конструкции — коэффициент надежности по ответственности, возраст кладки, срок службы, наличие повреждений и данные о материале — применяемых камнях и растворах. Все эти данные описаны в разделе **Материалы**.

Страница **Конструкция** (рис. 8.9.1-2) содержит сведения о поперечных сечениях столба. Предусмотрены следующие типы поперечных сечений — прямоугольные, тавровые, круглые и кольцевые. Тип сечения выбирается соответствующим маркером, после чего следует ввести размеры сечения. Задаются также высота столба, значение продольной силы (приложенной в верхнем сечении столба) и коэффициент длительно действующей её части.

Контроль размеров выполняется нажатием кнопки , расположенной под маркерами с изображением поперечных сечений. В окне **Поперечное сечение** (рис. 8.9.1-3) отображается схема сечения с размерами и информация о расположении центра масс.

Следует отметить, что в качестве нагрузки задается расчетное значение сочетания нагрузок и коэффициент длительной части в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85*.

При проверке возможен автоматический учет собственного веса столба. Для этого нужно активировать соответствующий маркер и задать объемный вес кладки. В этом случае вес столба суммируется с заданной нагрузкой.

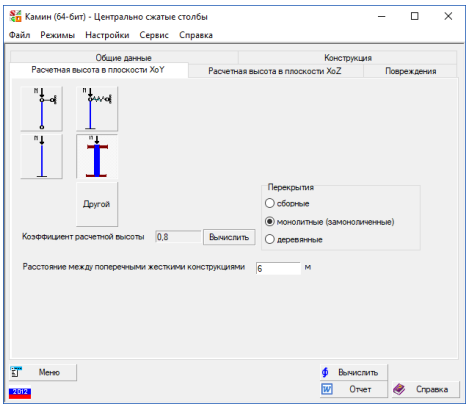


Рис. 8.9.1-4. *Страница* **Расчетные высоты**

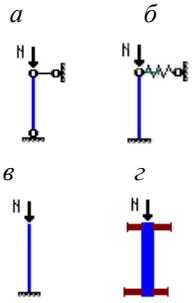


Рис. 8.9.1-5. Схемы закрепления столбов

На страницах **Расчетная высота в плоскости XoY** и **Расчетная высота в плоскости XoZ** определяются коэффициенты расчетной высоты в обеих главных плоскостях XoY и XoZ (рис. 8.9.1-4).

Коэффициенты являются множителями к геометрической высоте столба и вычисляются в соответствии с требованиями пп. 4.3, 4.4, 6.7 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.3, 7.4, 9.11 СП 15.13330.2020). Кроме того, предусмотрена возможность ввода значений коэффициентов, отличных от расчетных.

На рис. 8.9.1-5 приведены различные случаи закрепления столбов:

а) соответствует п. 4.3, *а* СНиП II-22-81 (п. 7.3, *а* СП 15.13330).

б) соответствует п. 4.3, *б* СНиП II-22-81 (п. 7.3, *б* СП 15.13330).

в) соответствует п. 4.3, *в* СНиП II-22-81 (п. 7.3, *в* СП 15.13330).

г) соответствует п. 4.3, *г* СНиП II-22-81 (п. 7.3, *г* СП 15.13330) и используется в случае, когда элемент защемлен в перекрытиях.

В случаях *б*) и *г*) требуется задание следующей дополнительной информации:

б) – о типе здания (однопролетное или многопролетное);

г) – следует указать тип перекрытия (сборные, монолитные или деревянные) и расстояние между поперечными жесткими конструкциями.

После нажатия кнопки **Вычислить** выдаются значения коэффициентов расчетной высоты.

Кроме того, при нажатии кнопки **Другой** пользователь получает возможность ввести собственные значения коэффициента расчетной высоты в поля с результатами.

На странице **Повреждения** приводятся данные об огневых и механических повреждениях, которые могут быть учтены при экспертизе конструктивного элемента. Возможные повреждения конструкций описаны в разделе 8.4.

Огневые повреждения учитываются по всему периметру поперечного сечения столба и предполагаются одинаковыми по всей высоте столба.

Также одинаковыми по всей высоте столба предполагаются и механические повреждения кладки.

8.9.2 Внецентренно сжатые столбы

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания внецентренно сжатых столбов. Внецентренное приложение нагрузки принято только в одной из главных плоскостей поперечного сечения столба. Реализуются требования пп. 4.7–4.9, 4.11, 5.3 и связанных с ними пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.7-7.9, 7.11, 8.3 СП 15.13330). Столбы приняты постоянного по высоте поперечного сечения. Реализованы прямоугольные, тавровые, круглые и кольцевые поперечные сечения.

Проверки устойчивости столба выполняются в плоскости действия момента (эксцентриситета) и из плоскости действия момента. В плоскости действия момента проверка выполняется в нескольких сечениях по высоте стержня, что позволяет учесть изменение продольной силы и эксцентриситета. Из плоскости действия момента проверка выполняется как для центрально сжатого стержня.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;
- **Кривые взаимодействия**;
- **Повреждения.**

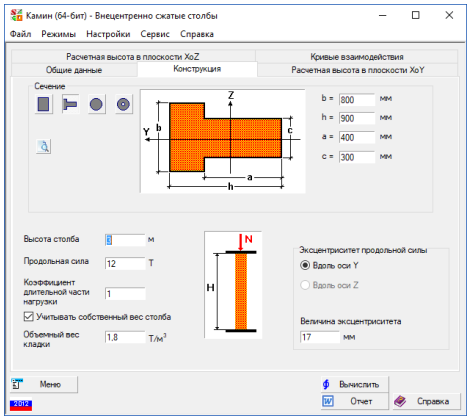


Рис. 8.9.2-1. *Страница* **Конструкция**

Страница **Общие данные** содержит данные о конструкции и идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

Страница **Конструкция** (рис. 8.9.2-1) практически совпадает с соответствующей страницей режима **Центрально сжатые столбы**. Дополнительно указывается, вдоль какой оси задается эксцентриситет приложения нагрузки (в верхнем сечении столба) и значение эксцентриситета.

В окне **Поперечное сечение** (рис. 8.9.2-2), которое появляется по нажатии кнопки , выдается информация о расположении центра масс сечения, эксцентриситете приложения нагрузки и границе сжатой зоны.

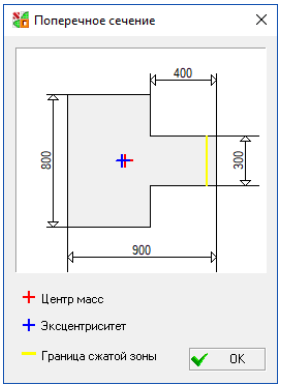


Рис. 8.9.2-2. Схема сечения

Страницы **Расчетная высота в плоскости XoY**, **Расчетная высота в плоскости XoZ** и **Повреждения** идентичны соответствующим страницам режима **Центрально сжатые столбы**.

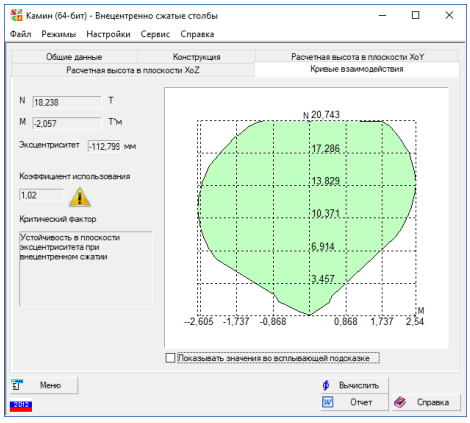


Рис. 8.9.2-3. *Страница* **Кривые взаимодействия**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 8.9.2-3) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности внецентренно сжатого столба при действии на него продольной силы и момента.

Если на странице **Общие данные** активен маркер **Учитывать собственный вес столба**, то при построении области несущей способности собственный вес будет учтен в каждой ее точке.

Область несущей способности построена в координатах *M-N*. Каждой точке этой плоскости соответствует эксцентриситет, равный *M/N*. В отличие от программ **Кристалл** и **АРБАТ**, в которых область несущей способности окружала начало координат, здесь рассматриваются только сжатые столбы. Поэтому область несущей способности расположена в верхней полуплоскости ($N > 0$).

Кривые (см. рис. 8.9.2-3) ограничивают область, внутри которой располагаются точки с допустимыми парами усилий. Напомним, что пара усилий считается допустимой, когда $K_{max} \le 1$.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому поло жение курсора соответствует определенная пара числовых значений продольной силы и момента (эксцентриситета), величины которых отображаются в соответствующих полях.

Вне области несущей способности существуют зоны, в которых не могут быть вычислены значения коэффициента K_{max}. Это связано с тем, что в этих зонах величина эксцентриситета такова, что в сечении столба отсутствует сжатая зона.

Одновременно выводится и максимальное значение коэффициента использования ограничений, соответствующее этим усилиям, и тип проверки, при которой он вычислен. Если курсор располагается в точке со значением $K_{max} > 1$, то появляется предупреждающий сигнал .

Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть полный список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, которые соответствуют положению курсора.

Страница **Повреждения** идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**. Огневые повреждения возможны только с внутренней стороны стены.

8.9.3 Наружная стена

Выполняется экспертиза продольной наружной стены здания в пределах высоты этажа. Стена может иметь проёмы. Фрагмент стены по длине задается такой, чтобы были определены проемы и простенки. Длина фрагмента (а далее и проверяемого элемента) зависит от наличия проемов. Если проемов нет, то рассматривается один метр по длине стены. Проемы (как и простенки) предполагаются равными по длине стены. При наличии проемов рассматривается участок, равный ширине простенка.

Основной проверкой является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии из плоскости стены. Выполняются сопутствующие проверки (растяжение и, если это необходимо, — срез). Реализуются требования пп. 4.7–4.9, 4.11, 5.3 и связанных с ними пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.7-7.9, 7.11, 8.3 СП 15.13330). Стена в пределах этажа рассматривается как пролет неразрезной балки. Устойчивость в плоскости стены предполагается обеспеченной (даже при наличии проемов) и не проверяется. Для простенков производится дополнительная проверка на устойчивость в плоскости стены (по п. 4.5 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, п. 7.5 СП 15.13330) как центрально сжатых.

Проверяемые сечения:

- в верхней части стены непосредственно под перекрытием;
- в средней части стены;
- в нижней части стены при опирании на нижнее перекрытие или на фундамент.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Нагрузки**;
- **Повреждения** (для СНиП)**;**
- **Расчетная высота и толщина** (для EN 1996-1-1 и ДБН)**;**
- **Учет эксцентриситетов** (для EN 1996-1-1 и ДБН)**.**

Страница **Общие данные** содержит данные о конструкции и идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

Страница **Конструкция** (рис. 8.9.3-1, *а*) содержит сведения о стене, ее размерах, размерах проемов и поперечных сечениях. Предусмотрены два типа поперечных сечений — прямоугольные и тавровые (тавровые только при наличии проемов). Выбор вида поперечного сечения выполняется с помощью маркеров с изображениями сечений.

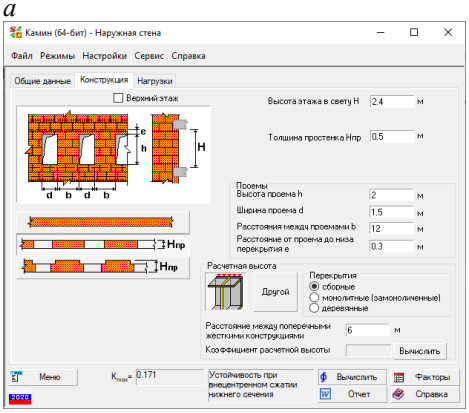
При расчетах по EN 1996-1-1 и ДБН специальный маркер **Внутренняя стена** позволяет переключиться в режим расчета не наружных, а внутренних стен.

Если выбран маркер **Верхний этаж**, то используется расчетная схема стены в виде однопролетной балки, у которой нижняя опора защемлена, а верхняя имеет шарнир, в противном случае предполагается защемление на обоих концах.

Расчетная высота (рис. 8.9.3-1, *б*) назначается в соответствии с требованиями п. 4.3, *г* и Примечания 1 СНиП II-22-81 (п. 7.3,*г* СП 15.13330). Стены имеют защемленные опорные сечения.

Найденные коэффициенты продольного изгиба принимаются постоянными по всей высоте стены.

а



б

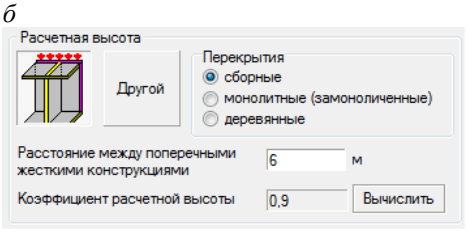


Рис. 8.9.3-1. *Страница* **Конструкция**

При расчетах по EN 1996-1-1 и ДБН данные о расчетной высоте (и толщине) задаются на отдельной странице.

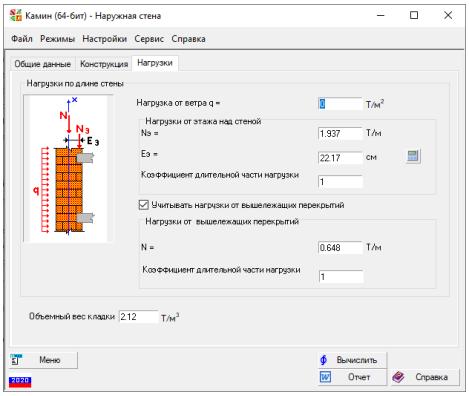


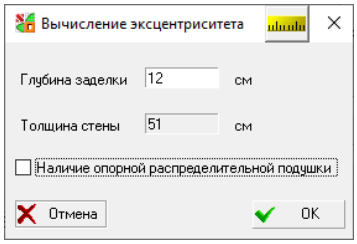
Рис. 8.9.3-2. *Страница* **Нагрузки**

Страница **Нагрузки**. Стена проверяется на действие следующих нагрузок (рис. 8.9.3-2):

- ветровой, нормальной к поверхности стены;
- нагрузки от вышележащих этажей, приложенной к верху стены или простенка в общем случае внецентренно;
- нагрузки от непосредственно опирающегося на стену перекрытия, приложенной центрально;
- собственного веса стены.

Принято, что все нагрузки заданы своими расчетными значениями. Для нагрузок от перекрытий задаются полные значения нагрузок и коэффициенты длительно действующей части.

Кнопка позволяет активировать диалоговое окно



в котором можно ввести глубину заделки перекрытия и указать наличие опорной распределительной подушки. При нажатии на кнопку **ОК** программа автоматически вычислит величину эксцентриситета нагрузки от этажа над стеной на основании рекомендаций п. 6.10 СНиП II-22-81 или п. Б.1 приложения Б СП 15.13330.2020.

Проверки выполняются на одно основное сочетание нагрузок, причем ветровая нагрузка учитывается с коэффициентом 0,9, все остальные — с коэффициентом 1.

Собственный вес стены учитывается всегда.

Страница **Повреждения** идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**. Огневые повреждения возможны только с внутренней стороны стены.

8.9.4 Стена подвала

Выполняется экспертиза стены подвала здания в пределах высоты подвального этажа. Предполагается, что стена подвала не имеет проемов и является шарнирно опертой на фундамент или перекрытие над подвалом, поперечное сечение — прямоугольное.

Основной проверкой является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии из плоскости стены. Выполняются сопутствующие проверки (растяжение и, если это необходимо, — срез). Реализуются требования пп. 4.1, 4.2, 4.7–4.9, 4.11, 5.3 и связанных с ними пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.1, 7.2, 7.7-7.9, 7.11, 8.3 СП 15.13330). Устойчивость в плоскости стены предполагается обеспеченной и не проверяется. Случайный эксцентриситет по п. 6.65 СНиП II-22-81 (п. 9.71 СП 15.13330.2020) учитывается только для нагрузок от вышележащей стены.

Проверяемые сечения:

- в верхней части стены непосредственно под перекрытием как внецентренно сжатого элемента;
- в средней части стены;
- в нижней части стены при опирании на фундамент как центрально сжатого элемента.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция и нагрузки**;
- **Расчетная высота и толщина** (для EN 1996-1-1 и ДБН);
- **Учет эксцентриситетов** (для EN 1996-1-1 и ДБН);
- **Повреждения** (для СНиП).

Страница **Общие данные** содержит данные о конструкции и идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

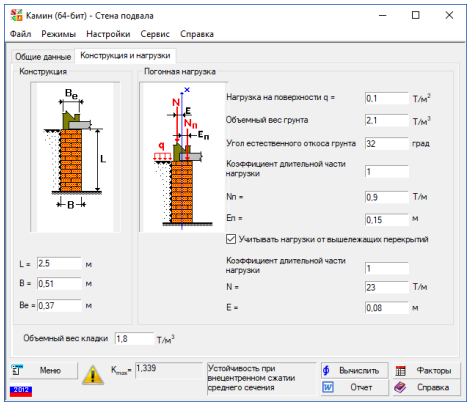


Рис. 8.9.4-1. *Страница* **Конструкция и нагрузки**

Страница **Конструкция и нагрузки** (рис. 8.9.4-1) содержит сведения о стене, ее размерах и поперечном сечении. Участки стены имеют одну глубину заложения.

Учитываются нагрузки от:

- веса стены подвала;
- вышележащих этажей, приложенная к верху стены внецентренно;
- перекрытия над подвалом, приложенная в общем случае внецентренно;
- бокового давления грунта;
- нагрузки на земле вблизи подвала (предполагается, что планировочная отметка совпадает с верхом стены подвала). Рекомендуется принимать значение нагрузки на земле не менее 1000 кгс/м^2.

Принято, что все нагрузки заданы своими расчетными значениями. Для нагрузок от перекрытия над подвалом и от вышележащих этажей задаются полные значения и их длительно действующие части.

Страница **Повреждения** идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**. Огневые повреждения возможны только с внутренней стороны стены.

8.9.5 Перемычки

В этом режиме выполняется экспертиза каменных (рядовых, клинчатых, арочных) и железобетонных перемычек. Все перемычки имеют прямоугольное поперечное сечение. Перемычки могут перекрывать средний или крайний проем. Каждая из каменных перемычек может иметь затяжку.

Основной проверкой для каменных перемычек является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии в плоскости стены, которая выполняется в наиболее опасном сечении перемычки, определяемом эпюрой моментов. Перемычка рассматривается как частично защемленная в простенках, при этом коэффициент расчетной длины принят равным 2/3. Устойчивость перемычки из плоскости стены предполагается обеспеченной. Реализуются требования пп. 4.7, 4.8, 6.47 и связанных с ними пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.7, 7.8, 9.53 СП 15.13330.2020). В случае, когда перемычка перекрывает крайний проем и отсутствует затяжка, дополнительно выполняется проверка крайнего простенка по срезу (по раствору и по камню) от действия распора в перемычке (п. 4.20 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, п. 7.20 СП 15.13330). Предполагается, что каменная перемычка и простенок выполнены из кладки с одинаковыми характеристиками. При наличии затяжки проверяется ее прочность по п.5.1 СНиП II-23-81* (п. 7.1.1 СП 16.13330).

Для железобетонной перемычки производятся прочностные проверки в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84* или СП 63.13330.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Нагрузки**;
- **Схема армирования**.

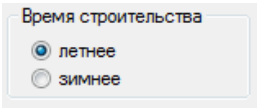


Рис. 8.9.5-1. *Страница* **Общие данные** (фрагмент)

Страница **Общие данные** содержит данные о конструкции и практически идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

Отличия (при расчетах по СНиП) заключаются в следующем:

- требуется информация о времени строительства (рис. 8.9.5-1);
- из списка камней исключены природные камни низкой прочности и рваный бут;
- применяются растворы марки 25 и выше.

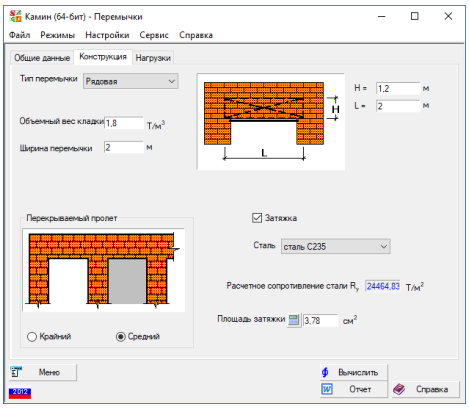
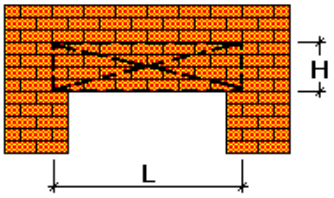
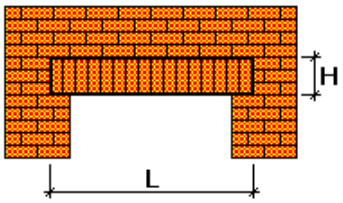


Рис. 8.9.5-2. *Страница* **Конструкция**

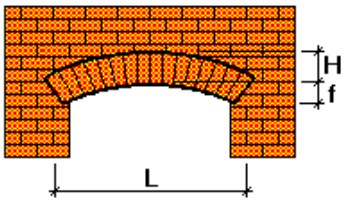
а



б



в



г

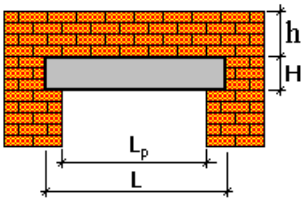


Рис. 8.9.5-3. Виды перемычек

Страница **Конструкция** (рис. 8.9.5-2) предназначена для задания данных о конструкции перемычки. Возможны рядовые (рис. 8.9.5-3, *а*), клинчатые (рис. 8.9.5-3, *б*), арочные (рис. 8.9.5-3, *в*) и железобетонные балочные (рис. 8.9.5-3, *г*) перемычки.

Каждая из каменных перемычек может иметь затяжку, для которой задаются класс стали и площадь поперечного сечения. Кнопка позволяет получить значение площади затяжки для случаев, когда перемычка выполнена из арматурных стержней или прокатных профилей. При нажатии этой кнопки появляется диалоговое окно, представленное на рисунке 8.9.5-4, в котором следует выбрать диаметр арматурного стержня или профиль металлопроката и их количество. После нажатия кнопки **ОК** значение площади будет перенесено в соответствующее поле ввода площади затяжки.

В том случае, когда перемычка перекрывает крайний пролет и отсутствует затяжка, необходимо проверить прочность простенка, для чего следует задать его площадь и значение дополнительной нагрузки, не зависящей от нагрузки, передаваемой перемычкой (см. рис. 8.9.5-2).

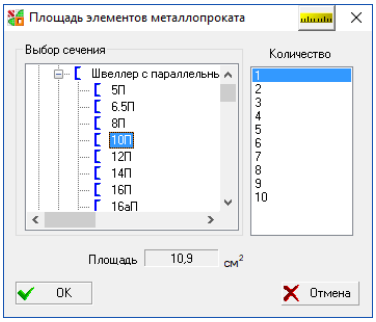


Рис. 8.9.5-4. Площадь затяжки

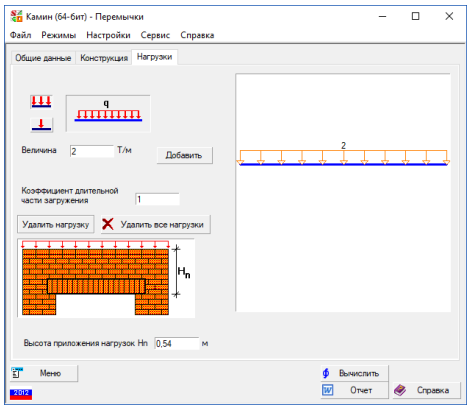


Рис. 8.9.5-5. *Страница* **Нагрузки**

На странице **Нагрузки** задаются нагрузки на перемычку, приходящиеся от перекрытия вышележащего этажа (рис. 8.9.5-5), высота приложения этих нагрузок, а также коэффициент длительной части.

Возможны нагрузки двух видов:

- равномерно распределенная по всему пролету перемычки;
- система вертикальных сосредоточенных сил, каждая из которых характеризуется величиной, направлением и привязкой к левой опоре.

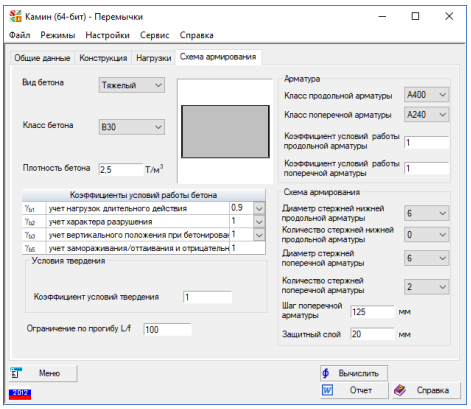


Рис. 8.9.5-6. *Страница* **Схема армирования**

Если выбрана железобетонная перемычка, то появляется дополнительная страница — **Схема армирования** (рис. 8.9.5-6), на которой из соответствующих списков должны быть выбраны вид и класс бетона. Кроме того, назначаются коэффициенты условий работы бетона и коэффициент условий твердения.

Коэффициент условий работы бетона γ_{b2} учитывает длительность действия нагрузки, и его величина принимается равной 1 (по умолчанию) или 0,9 (поз. 2*а* табл. 15 СНиП 2.03.01-84*, п. 6.1.12,*а* СП 63.13330).

Коэффициент условий работы бетона γ_b представляет собой произведение всех коэффициентов условий работы бетона из табл. 15 СНиП 2.03.01-84* (п. 6.1.12 СП 63.13330) за исключением γ_{b2} и по умолчанию принимается равным 1.

Если величина начального модуля упругости бетона отличается от табличного значения, то задается коэффициент условий твердения бетона, с помощью которого выполняется корректировка этого значения (назначается только при естественном твердении бетона).

Кроме того, следует задать информацию о схеме армирования, а именно:

- величину защитного слоя;
- классы продольной и поперечной арматуры;
- коэффициенты условий работы арматуры;
- диаметр и количество стержней нижней продольной арматуры при размещении ее в один ряд;
- диаметр и количество стержней, а также шаг поперечной арматуры.

Если количество стержней или значение шага поперечной арматуры заданы равными нулю, то считается, что поперечная арматура отсутствует, и соответствующие проверки производиться не будут.

Железобетонные перемычки работают в условиях, при которых верхняя арматура по соображениям прочности не нужна, поэтому данные о верхней арматуре не вводятся и проверка работы верхней арматуры не производится.

8.9.6 Местная прочность

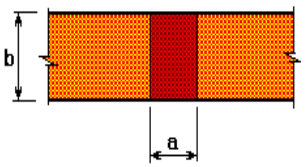
В режиме **Местная прочность** выполняется экспертиза местной прочности в местах передачи сосредоточенных нагрузок (от опирания балок, прогонов и других элементов) на стены и столбы. Реализуются требования пп. 4.13, 4.14, 4.16 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.13, 7.14, 7.16 СП 15.13330). Одновременное действие местной и основной нагрузок (п. 4.15 СНиП II-22-81, пп. 7.15 СП 15.13330) не проверяется. Распределение давления в местах передачи нагрузок принято равномерным по всей площади передачи.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

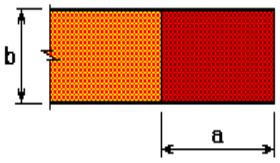
- **Общие данные**;
- **Схема нагружения**;
- **Повреждения** (для СНиП).

Страница **Общие данные** содержит данные о конструкции и идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

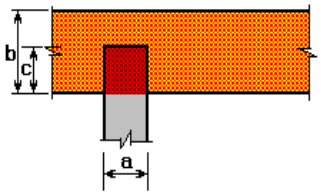
На странице **Схема нагружения** задаются данные о величине местной нагрузки и выбирается схема ее приложения. На рис. 8.9.6-1 показаны схемы приложения нагрузки и указано (в скобках) их соответствие схемам, приведенным на рис. 9 СНиП II-22-81 (СП 15.13330) (темным цветом отмечен участок, на который приложена нагрузка).



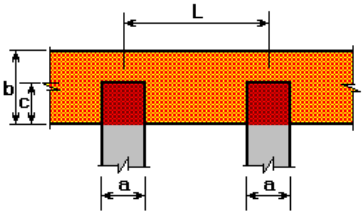
а) Местная нагрузка по всей ширине элемента (9, *а*)



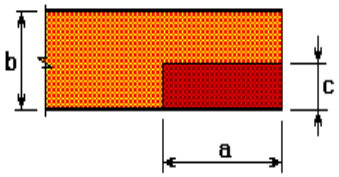
б) Местная краевая нагрузка по всей ширине элемента (9, *б*)



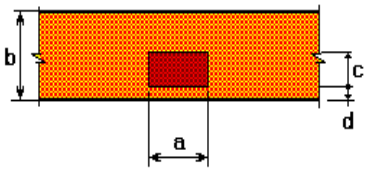
в) Местная нагрузка в местах опирания концов прогонов и балок (9, *в*)



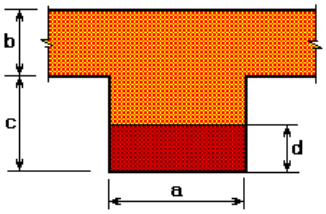
г) Местная нагрузка в местах опирания концов прогонов и балок (9, $в_1$)



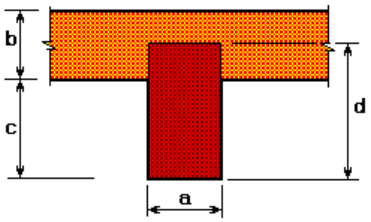
д) Местная нагрузка на угол элемента (9, *г*)



е) Местная нагрузка, приложенная на части длины и ширины элемента (9, *д*)



ж) Местная нагрузка в пределах выступа стены (9, *е*)



и) Местная нагрузка, расположенная в пределах стены и выступа (9, *ж*)

Рис. 8.9.6-1. Схемы приложения местной нагрузки

На странице **Повреждения** приводятся данные о механических повреждениях, которые могут быть учтены при экспертизе местной прочности. Механические повреждения кладки предполагаются одинаковыми по всему объему проверяемого участка.

8.10 Армокаменные конструкции

Приведенные ниже сведения являются, по существу, общими ограничениями реализации, принятыми при разработке программы **Камин**, и относятся ко всем режимам группы проверки армокаменных конструкций.

Рассматриваются элементы только с поперечным сетчатым армированием. Армирование выполняется прямоугольными сетками либо сетками типа «зигзаг», которые укладываются в двух смежных швах кладки. Для армирования используется арматура классов А-I, Вр-I по СНиП 2.03.01-84* (А240, Вр500 по СП 63.13330).

Ограничения по диаметрам арматуры:

- для прямоугольных сеток — от 3 до 6 мм;
- для сеток типа «зигзаг» — от 3 до 8 мм.

Ограничения по шагу стержней в сетках:

- для прямоугольных сеток — от 3 до 12 см;
- для сеток типа «зигзаг» — от 3 до 12 см;
- во всех сетках шаг стержней одинаков в обоих направлениях.

Диаметры стержней обоих направлений в прямоугольных сетках одинаковы, одинаковы также и обе рассматриваемые сетки типа «зигзаг».

Диапазон насыщенности поперечных сечений арматурой принят следующий:

- минимально допустимый процент армирования равен 0,1;
- максимально допустимый процент армирования равен 1.

В случае, когда процент армирования меньше минимального, расчет не может быть выполнен. В случае, когда процент армирования больше максимального, проверка армированной кладки будет выполнена при проценте армирования, равном максимальному. В обоих случаях выдаются соответствующие сообщения.

Ограничения по применяемым материалам:

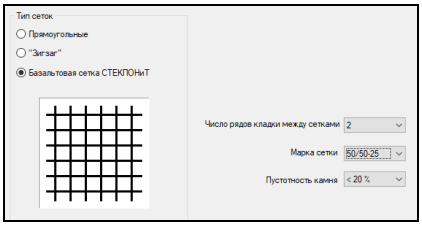
- не применяются камни высотой более 150 мм и бутовые камни;
- применяются только растворы марки 25 и выше.

Не проверяется прочность армированной кладки в процессе ее возведения (т.е. не реализуется формула (28) СНиП II-22-81, формула (7.24) СП 15.13330.2020).

Кроме того, экспертиза внецентренно сжатой армокаменной конструкции при больших эксцентриситетах не выполняется в случае, когда эксцентриситет превышает половину расстояния от центра тяжести сечения до наружного края сжатой зоны, об этом выдается сообщение.

Особенности реализации режима **Местная прочность армированных конструкций** описаны дополнительно.

Помимо армирования каменной кладки арматурными сетками в программе предусмотрена возможность расчета кладки армированной базальтовой сеткой СТЕКЛОНиТ (базальтовую сетку следует применять при марках раствора в швах не ниже М75). В этом случае пользователь должен задать число рядов кладки между сетками, марку сетки и данные о пустотности камня.



Расчет выполняется в соответствии с данными производителя о прочностных показателях сетки и "Рекомендаций по проектированию каменных конструкций, усиленных базальтовой сеткой производства АО СТЕКЛОНиТ", разработанных ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

В EN 1996-1-1 отсутствуют рекомендации по вычислению расчетного сопротивления кладки для армокаменных конструкций в случае горизонтального армирования. Поэтому программа использует соответствующие рекомендации СНиП.

Кроме того, при расчетах по EN 1995-1-1 и ДБН следует ввести информацию о высоте камня.

8.10.1 Армированные центрально сжатые столбы

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания армированных центрально сжатых столбов. Реализуются требования п. 4.30 и связанных с ним пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (п. 7.31 СП 15.13330.2020). Несущая способность проверяется в наиболее опасном нижнем сечении. Столбы приняты постоянного по высоте поперечного сечения. Реализованы прямоугольные, тавровые, круглые и кольцевые поперечные сечения.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;
- **Повреждения**;
- **Данные об армировании**.

Страницы **Общие данные**, **Конструкция**, **Расчетная высота в плоскости XoY**, **Расчетная высота в плоскости XoZ** и **Повреждения** практически идентичны соответствующим страницам режима **Центрально сжатые столбы**.

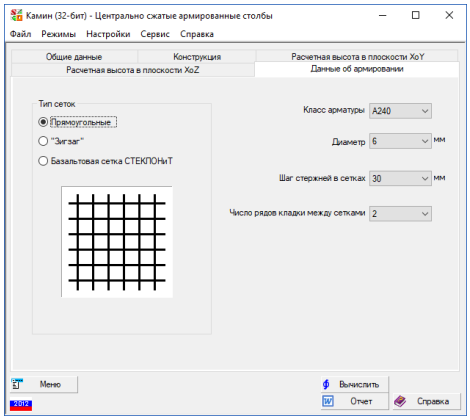


Рис. 8.10.1-1. *Страница* **Данные об армировании**

На странице **Данные об армировании** (8.10.1-1) из соответствующих списков выбираются: класс арматуры, диаметр стержней, шаг стержней в сетках и количество рядов кладки между сетками. С помощью маркеров назначается тип сеток (прямоугольные или «зигзаг»).

8.10.2 Армированные внецентренно сжатые столбы

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания армированных внецентренно сжатых столбов. Внецентренное приложение нагрузки принято только в одной из главных плоскостей поперечного сечения столба. Реализуются требования п. 4.31 и связанных с ним пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (п.7.32 СП 15.13330.2020). Столбы приняты постоянного по высоте поперечного сечения. Реализованы прямоугольные, тавровые, круглые и кольцевые поперечные сечения.

Отличия следующие:

- не используются бутовые камни и камни высотой более 150 мм;
- применяются растворы марки 25 и выше.

Проверки устойчивости столба выполняются в плоскости действия момента (эксцентриситета) и из плоскости действия момента. Особенности проверки в плоскости действия момента аналогичны соответствующему расчету в режиме **Внецентренно сжатые столбы.** Из плоскости действия момента проверка выполняется как для центрально сжатого стержня.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;
- **Кривые взаимодействия**;
- **Повреждения**;
- **Данные об армировании**.

По построению и технологии использования режим очень близок к уже описанным режимам **Армированные центрально сжатые столбы** и **Внецентренно сжатые столбы**. Страницы **Общие данные**, **Конструкция**, **Повреждения**, **Кривые взаимодействия**, **Расчетная высота в плоскости XoY**, **Расчетная высота в плоскости XoZ** и **Данные об армировании** идентичны соответствующим страницам других режимов.

8.10.3 Армированная наружная стена

Выполняется экспертиза продольной армированной наружной стены здания в пределах высоты этажа. Стена может иметь проемы. Задается фрагмент стены по длине такой, чтобы были определены проемы и простенки. Длина фрагмента (а далее — и проверяемого элемента) зависит от наличия проемов. Если проемов нет, то рассматривается один метр по длине стены. Проемы предполагаются одинаковыми по длине стены (простенки также одинаковые). При наличии проемов рассматривается участок, равный ширине простенка.

Основной проверкой является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии из плоскости стены. Реализуются требования п. 4.31 и связанных с ним пунктов СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (п.7.32 СП 15.13330.2020). Стена в пределах этажа рассматривается как пролет неразрезной балки. Устойчивость в плоскости стены предполагается обеспеченной (даже при наличии проемов) и не проверяется. Для простенков производится дополнительная проверка на устойчивость в плоскости стены (по пп. 4.5, 4.30 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, пп. 7.5, 7.31 СП 15.13330.2020) как центрально сжатых.

Проверяемые сечения:

- в верхней части стены непосредственно под перекрытием;
- в средней части стены;
- в нижней части стены при опирании на нижнее перекрытие или на фундамент.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Нагрузки**;
- **Расчетная высота и толщина** (для EN 1996-1-1 и ДБН)**;**
- **Учет эксцентриситетов** (для EN 1996-1-1 и ДБН)**;**
- **Повреждения** (для СНиП);
- **Данные об армировании**.

Страницы **Конструкция** и **Нагрузки** идентичны одноименным страницам режима **Наружная стена**. Остальные страницы идентичны соответствующим страницам режима **Армированные центрально сжатые столбы**.

8.10.4 Армированная стена подвала

Выполняется экспертиза армированной стены подвала здания в пределах высоты подвального этажа. Стена подвала не имеет проемов. Рассматривается один метр по длине стены, поперечное сечение — прямоугольное.

Основной проверкой является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии из плоскости стены. Выполняются сопутствующие проверки (растяжение и, если это необходимо, — срез). Реализуются требования пп. 4.30, 4.31 и связанных с ними пп. СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.31, 7.32 СП

15.13330.2020). Стена подвала предполагается шарнирно опертой на фундамент и перекрытие над подвалом. Устойчивость в плоскости стены предполагается обеспеченной и не проверяется. Случайный эксцентриситет по п. 6.65 СНиП II-22-81 (п. 9.71 СП 15.13330.2020) учитывается только для нагрузок от вышележащей стены.

Проверяемые сечения:
- в верхней части стены непосредственно под перекрытием как внецентренно сжатого элемента;
- в средней части стены;
- в нижней части стены при опирании на фундамент как центрально сжатого элемента.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:
- **Общие данные**;
- **Конструкция и нагрузки**;
- **Повреждения** (для СНиП);
- **Расчетная высота и толщина** (для EN 1996-1-1 и ДБН)**;**
- **Учет эксцентриситетов** (для EN 1996-1-1 и ДБН);
- **Данные об армировании**.

Страница **Общие данные** содержит общие данные о конструкции и идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

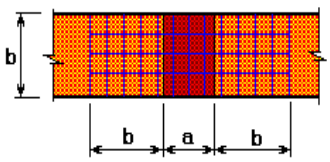
Страница **Конструкция и нагрузки** идентична одноименной странице режима **Стена подвала**. Остальные страницы идентичны соответствующим страницам режима **Армированные центрально сжатые столбы**.

8.10.5 Местная прочность армированных конструкций

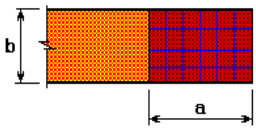
Выполняется экспертиза местной прочности в местах передачи сосредоточенных нагрузок (от опирания балок, прогонов и других элементов) на армированные стены и столбы. Реализуются требования пп. 4.13, 4.14, 4.16 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.13, 7.14, 7.16 СП 15.13330). Одновременное действие местной и основной нагрузок (п. 4.15 СНиП II-22-81, п. 7.15 СП 15.13330) не проверяется. Распределение давления в местах передачи нагрузок принято равномерным по всей площади передачи.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:
- **Общие данные**;
- **Схема нагружения**;
- **Повреждения** (для СНиП);
- **Данные об армировании.**

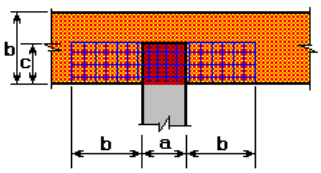
Страницы **Общие данные** и **Повреждения** соответствующим страницам режима **Местная прочность**. Страница **Данные об армировании** идентична соответствующей странице режима **Армированные центрально сжатые столбы**.



а) Местная нагрузка по всей ширине элемента (9, *а*)

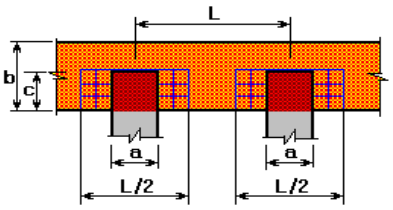


б) Местная краевая нагрузка по всей ширине элемента (9, *б*)

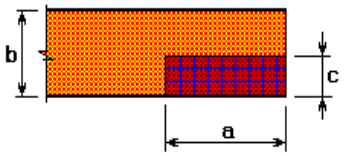


в) Местная нагрузка в местах опирания концов прогонов и балок (9, *в*)

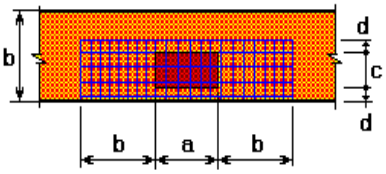
Рис. 8.10.5-1. Схемы нагружения **(***а* - *в***)**



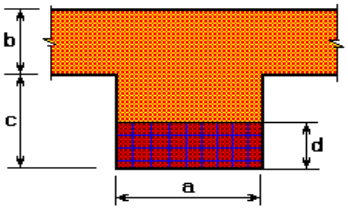
г) Местная нагрузка в местах опирания концов прогонов и балок (9, $в_1$)



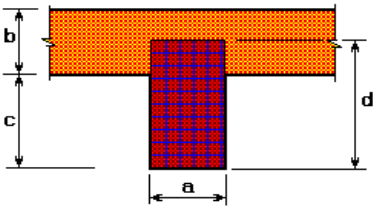
д) Местная нагрузка на угол элемента (9, *г*)



е) Местная нагрузка, приложенная на часть длины и ширины элемента (9, *д*)



ж) Местная нагрузка, приложенная в пределах выступа стены (9, *е*)



з) Местная нагрузка, приложенная в пределах стены и выступа (9, *ж*)

Рис. 8.10.5-1. Схемы нагружения **(***г* - *з***)**

На странице **Схема нагружения** задаются данные о величине местной нагрузки и выбирается схема ее приложения. На рис. 8.10.5-1 показаны схемы приложения нагрузки и указано (в скобках) их соответствие схемам, приведенным на рис. 9 СНиП II-22-81 (рис.7.6 СП 15.13330.2020) (темным цветом отмечен участок, к которому приложена нагрузка). Арматура показана только там, где она минимально необходима — на расчетной площади сечения, определяемой по указаниям п. 4.16 СНиП II-22-81 (п. 7.16 СП 15.13330). Для армирования используются только прямоугольные сетки с размером ячейки не более чем 60×60 мм.

8.11 Реконструируемые конструкции

Режимы этой группы предназначены для экспертизы отдельных конструктивных элементов каменных конструкций, в том числе поврежденных, усиленных стальными обоймами.

Повреждения каменных конструкций могут быть механической и огневой природы. Повреждения классифицируются по табл. 1 (механические в стенах, простенках и столбах), табл. 2 (механические в местах повреждения кладки опор балок, ферм, прогонов, перемычек), табл. 3 (кладки стен и столбов при пожаре) Рекомендаций [3] (см. также табл. 3-6 СП 427.1325800.2018). Учет повреждений сводится к снижению расчетных сопротивлений кладки и уменьшению размеров поперечных сечений элементов. Механические и огневые повреждения могут одновременно иметь место в одном конструктивном элементе (за исключением случаев проверки местной прочности, где учитываются только механические повреждения). Огневые повреждения учитываются только для стен, толщина которых не менее 38 см, или для столбов, размер сечения которых не менее 38 см. В случае, когда повреждения не могут быть учтены, выдается сообщение. Суммарное максимальное снижение расчетного сопротивления от огневых и механических повреждений не должно превышать 50 процентов. Усиление столбов и участков стен выполнено с учетом рекомендаций Пособия [2], Руководства [4] и СП 427.1325800.2018.

8.11.1 Центрально сжатые столбы, усиленные обоймами

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания каменных центрально сжатых столбов, усиленных стальными обоймами. Несущая способность проверяется в наиболее опасном нижнем сечении. Столбы приняты постоянного по высоте

поперечного сечения. Реализованы прямоугольные и тавровые поперечные сечения. Усиление выполнено из равнополочных вертикальных уголков, охватывающих углы столба и горизонтальных полос, соединяющих уголки. Горизонтальные полосы (хомуты) — ненапрягаемые. Усилия, действующие на элемент, не передаются на элементы усиления (обойму). Принято, что расстояния между поперечными элементами усиления по высоте — не более наименьшего размера усиливаемого элемента или 50 см, расстояние между вертикальными элементами в плане — не более 100 см или двух толщин элемента. Учтены рекомендации пп. 5.34, 5.35, 5.38, 5.40 Пособия [2], пп. 5.42, 5.45, 5.46 Руководства [4], пп. 8.21-8.27 СП 427.1325800.2018.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;
- **Повреждения**;
- **Усиление**.

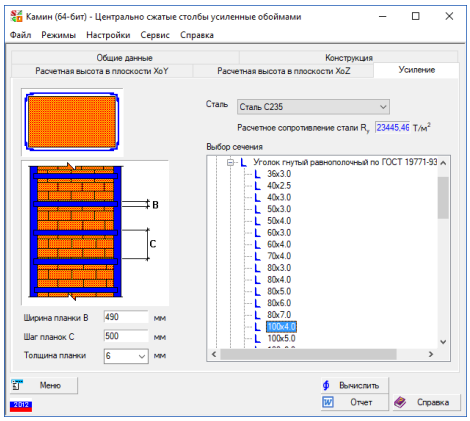


Рис. 8.11.1-1. *Страница* **Усиление**

Страницы **Общие данные**, **Конструкция**, **Расчетная высота в плоскости XoY**, **Расчетная высота в плоскости XoZ** и **Повреждения** идентичны соответствующим страницам режима **Центрально сжатые столбы**.

Страница **Усиление** (рис. 8.11.1-1) содержит сведения о конструкции усиления, классе стали и данные из сортаментов для вертикальных уголков.

Предполагается, что вертикальные и горизонтальные элементы усиления выполнены из стали одного класса.

8.11.2 Внецентренно сжатые столбы, усиленные обоймами

Режим предназначен для проверки прочности и устойчивости отдельно стоящих либо входящих в состав здания каменных внецентренно сжатых столбов, усиленных стальными обоймами. Столбы приняты постоянного по высоте поперечного сечения. Реализованы прямоугольные и тавровые поперечные сечения. Усиление выполнено из равнополочных вертикальных уголков, охватывающих углы столба, и горизонтальных полос, соединяющих уголки. Горизонтальные полосы (хомуты) — ненапрягаемые. Усилия, действующие на элемент, не передаются на элементы усиления (обойму). Принято, что расстояния между поперечными элементами усиления по высоте — не более наименьшего размера усиливаемого элемента или 50 см, расстояние между вертикальными элементами в плане — не более 100 см или двух толщин элемента. Учтены рекомендации пп. 5.34, 5.35, 5.38, 5.40 Пособия [2], пп. 5.42, 5.45, 5.46 Руководства [4], пп. 8.21-8.27 СП 427.1325800.2018.

Проверки устойчивости столба выполняются в плоскости действия момента (эксцентриситета) и из плоскости действия момента. Особенности проверки в плоскости действия момента аналогичны соответствующему расчету в режиме **Внецентренно сжатые столбы.** Из плоскости действия момента проверка выполняется как для центрально сжатого стержня.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Расчетные высоты**;

- **Кривые взаимодействия**;
- **Повреждения**;
- **Усиление.**

Страницы **Общие данные**, **Конструкция**, **Кривые взаимодействия**, **Расчетная высота в плоскости XoY**, **Расчетная высота в плоскости XoZ** и **Повреждения** идентичны соответствующим страницам режима **Внецентренно сжатые столбы**.

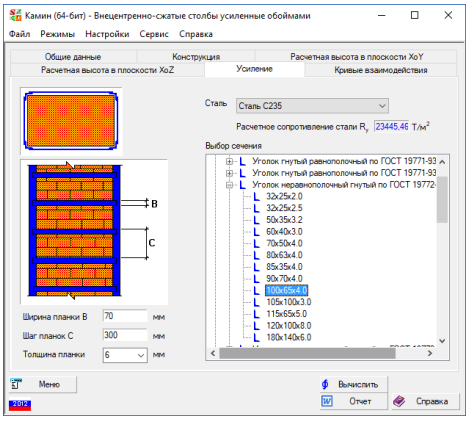


Рис 8.11.2-1. *Страница* **Усиление**

Страница **Усиление** содержит сведения о конструкции усиления (рис. 8.11.2-1), классе стали и данные из сортаментов для вертикальных уголков.

Предполагается, что вертикальные и горизонтальные элементы усиления выполнены из стали одного класса.

8.11.3 Усиление обоймами стены здания

Выполняется экспертиза продольной стены здания без проемов в пределах высоты этажа. Задается длина усиленного обоймой участка стены прямоугольного сечения. Обойма состоит из вертикальных полос, устанавливаемых по краям усиливаемого участка стены и, при необходимости, равномерно по длине усиливаемого участка. Дополнительные вертикальные полосы назначаются из условия, чтобы расстояние между вертикальными элементами усиления не превышало одного метра либо двух толщин стены. Элементы усиления ненапрягаемые. Усилия, действующие на стену, не передаются на обойму. Поперечные элементы — планки, расстояние между которыми не должно превышать 50 см либо толщину стены. В местах пересечения поперечные и продольные элементы усиления должны быть соединены. Кроме того, соответствующие узлы, расположенные на противоположных поверхностях стены, связаны между собой горизонтальными круглыми конструктивными элементами, проходящими сквозь толщу стены. Эти конструктивные элементы при расчете не учитываются.

Выполняется проверка на устойчивость усиленного участка из плоскости стены при внецентренном сжатии. Реализуются требования пп. 4.7–4.9, 4.11 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (пп. 7.7-7.9, 7.11 СП 15.13330) с учетом рекомендаций пп. 5.34, 5.35, 5.38, 5.40 Пособия [2], пп. 5.42, 5.45, 5.46 Руководства [4], пп. 8.21-8.27 СП 427.1325800.2018.

Стена в пределах этажа рассматривается как пролет неразрезной балки. Устойчивость усиленного участка в плоскости стены предполагается обеспеченной и не проверяется.

Проверяются следующие сечения:

- в верхней части стены непосредственно под перекрытием;
- в средней части стены;
- в нижней части стены при опирании на нижнее перекрытие или на фундамент.

В каждом из сечений выполняется только одна проверка на устойчивость усиленного участка стены (сопутствующие проверки — растяжение и срез — не выполняются).

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;

- **Нагрузки**;
- **Повреждения**;
- **Усиление**.

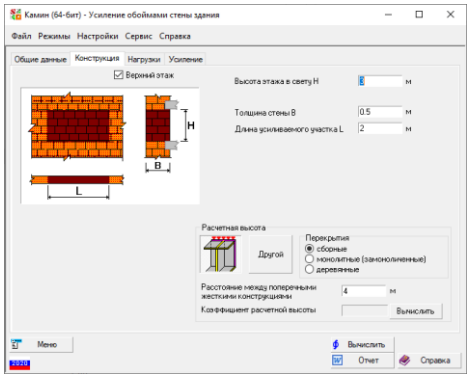


Рис. 8.11.3-1. *Страница* **Конструкция**

Страница **Общие данные** идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**.

Страница **Конструкция** (рис. 8.11.3-1) содержит сведения об **усиливаемом** участке стены (на рисунке затемнен) и его размерах.

Расчетная высота назначается аналогично режиму **Наружная стена**. Участок стены имеет защемленные опорные сечения. Найденные коэффициенты продольного изгиба принимаются постоянными по всей высоте участка стены.

Если выбран маркер **Верхний этаж**, то используется расчетная схема стены в виде однопролетной балки, у которой нижняя опора защемлена, а верхняя имеет шарнир, в противном случае предполагается защемление на обоих концах.

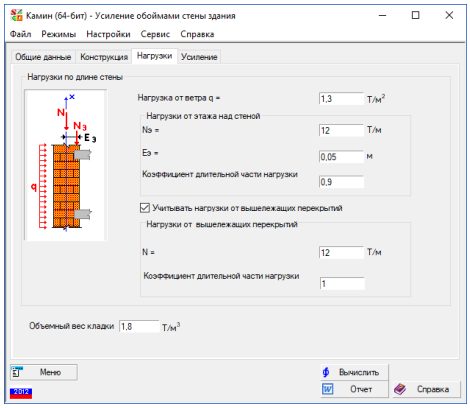


Рис. 8.11.3-2. *Страница* **Нагрузки**

На странице **Нагрузки** (рис. 8.11.3-2) предусмотрено задание следующих нагрузок:

- ветровой, нормальной к поверхности стены;
- нагрузки от вышележащих этажей, приложенных к верху стены или простенка в общем случае внецентренно;
- нагрузки от непосредственно опирающегося на стену перекрытия, приложенной центрально;
- собственного веса стены.

Принято, что все нагрузки заданы своими расчетными значениями. Для нагрузок от перекрытий задаются их полные значения и коэффициент длительно действующей части.

Проверки выполняются на одно основное сочетание нагрузок, причем ветровая нагрузка учитывается с коэффициентом 0,9, тогда как все остальные — с коэффициентом 1.

Собственный вес стены учитывается всегда.

Страница **Повреждения** идентична соответствующей странице режима **Центрально сжатые столбы**. Огневые повреждения возможны как с одной стороны стены, так и с двух сторон.

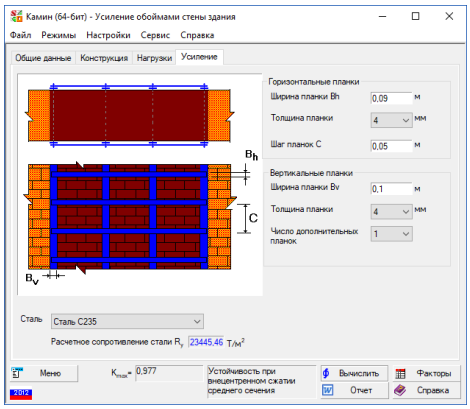


Рис. 8.11.3-3. *Страница* **Усиление**

Страница **Усиление** (рис. 8.11.3-3) содержит сведения о конструкции усиления и классе стали.

Предполагается, что вертикальные и горизонтальные элементы усиления выполнены из стали одного класса.

8.11.4 Проем в стене

Рассматривается проем в сплошной существующей кирпичной стене со следующими характерными признаками:

- образование проема не связано с изменением нагрузок на стену;
- нижняя часть проема не определена, т.е. не конкретизируется, является ли проем дверным или оконным;
- предполагается наличие перекрытия, расположенного выше образуемого проема (в частном случае проем может быть образован непосредственно под самим перекрытием);
- стена, в которой образовывается проем, может быть внутренней или наружной и не имеет выступов;
- в стене возможны механические и огневые повреждения;
- не используются природные камни низкой прочности и рваный бут;
- применяются растворы марки 25 и выше.

Проем окаймляется стальной перемычкой, которая образовывается укладкой двух спаренных уголков (равнополочных или неравнополочных), двух спаренных швеллеров либо одного двутавра с горизонтально расположенной стенкой.

Оставшаяся над проемом часть кладки рассматривается как рядовая перемычка. При достаточной высоте перемычки проверяется ее прочность как рядовой перемычки.

Устойчивость перемычки из плоскости стены предполагается обеспеченной. Реализуются требования пп. 4.7, 4.8, 6.47 и связанных с ними пунктов СНиП II-22-81 (пп. 7.7, 7.8, 9.53 СП 15.13330.2020). При недостаточной высоте или недостаточной прочности каменной перемычки проверяется прочность изгибаемой стальной перемычки. Реализуются требования п. 5.12 СНиП II-23-81* (п. 8.2.1 СП 16.13330). Совместная работа кладки и стальной перемычки не учитывается. Всегда выполняется проверка местной прочности кладки под стальной перемычкой. Основной проверкой для каменных перемычек является проверка на устойчивость при внецентренном сжатии в плоскости стены, которая выполняется в наиболее опасном сечении перемычки, определяемом эпюрой моментов.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Нагрузки**;
- **Повреждения**.

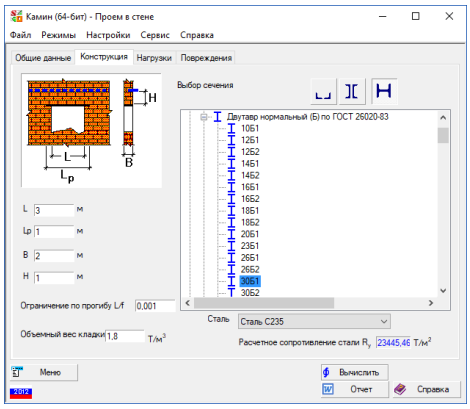


Рис. 8.11.4-1. *Страница* **Конструкция**

Страницы **Общие данные** и **Повреждения** практически идентичны соответствующим страницам режима **Центрально сжатые столбы**. Страница **Нагрузки** идентична одноименной странице режима **Перемычки**.

Страница **Конструкция** (рис. 8.11.4-1) предназначена для задания данных о проёме и стальной перемычке.

Для перемычки предусмотрено использование уголков, швеллеров и двутавров. Выбор сечения выполняется из соответствующего списка. Величина расчетного сопротивления стали назначается автоматически после выбора марки стали из одноименного списка или задается в соответствующем поле ввода после выбора в списке опции **Другая**.

8.12 Узлы опирания

8.12.1 Висячие стены

Режим предназначен для проверки местной прочности висячей стены при опирании ее на фундаментную балку в зонах, примыкающих к опорам фундаментной балки.

Высота стены должна быть не менее половины пролета балки. При этом условии справедливы предпосылки, положенные в основу расчета.

Стена опирается на балку центрально.

Проверка местной прочности выполняется только над фундаментной балкой.

Фундаментные балки могут быть одно- и многопролетными. Однопролетные балки шарнирно оперты, крайние опоры многопролетных балок — шарнирные.

При многопролетной схеме реакции определены как для трехпролетной неразрезной балки с равными пролетами, загруженной во всех пролетах равномерно распределенной нагрузкой от веса стены.

Поперечные сечения фундаментных балок постоянны по длине. Ширина всех опор одинакова. Длина опирания балок со стороны каждого пролета равна половине ширины опоры во всех случаях.

Материалом фундаментной балки может быть железобетон или сталь.

В пределах пролета в стене может быть один оконный или дверной проем. Предполагается, что в примыкающих пролетах (в случае неразрезной балки) проемов нет.

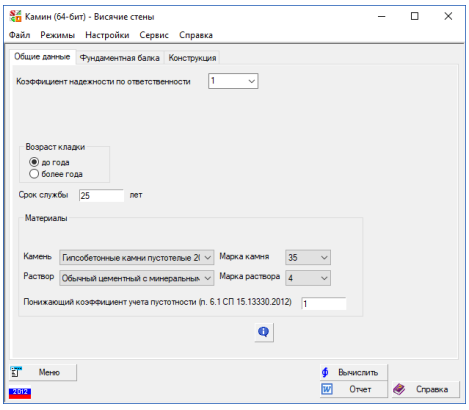


Рис. 8.12.1-1. *Страница* **Общие данные**

Всегда проверяется прочность одного пролета балки (среднего или крайнего для неразрезных) с проемом или без него. Уменьшение нагрузки вследствие наличия проема корректируется по статически определимой схеме в пределах пролета.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Фундаментная балка;**
- **Конструкция**.

Страница **Общие данные** (рис. 8.12.1-1) содержит общие данные о конструкции — коэффициент надежности по ответственности, возраст кладки, срок службы и данные о материале — применяемых камнях и растворах. Все эти данные описаны в разделе **Материалы**.

Страница **Фундаментная балка** содержит сведения о конструкции фундаментной балки (одно- или многопролетная, средний или крайний пролет, длина проверяемого пролета, а также сведения о наличии проемов в проверяемом пролете).

Для стальных балок (рис. 8.12.1-2,*а*) выбирается вид поперечного сечения и размеры. В случае, когда поперечное сечение сформировано из прокатных профилей, необходимый профиль выбирается из сортамента. Для коробчатого сечения поперечные размеры и толщина задаются пользователем.

Для железобетонных балок (рис. 8.12.1-2,*б*) выбирается вид поперечного сечения и задаются размеры. Пользователю необходимо также задать все необходимые сведения о бетоне.

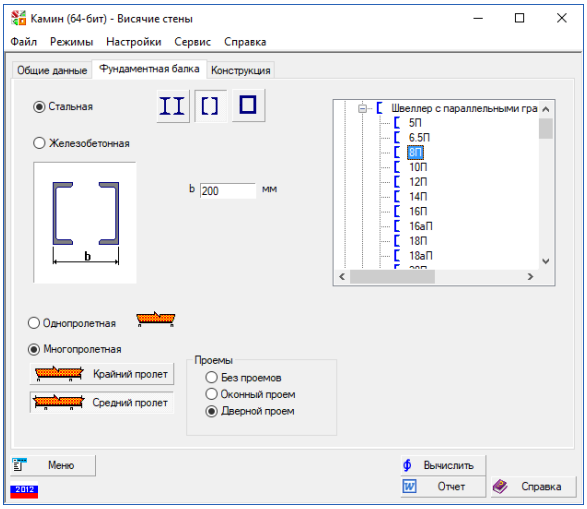


Рис. 8.12.1-2, *а*. *Страница* **Фундаментная балка** (балка стальная)

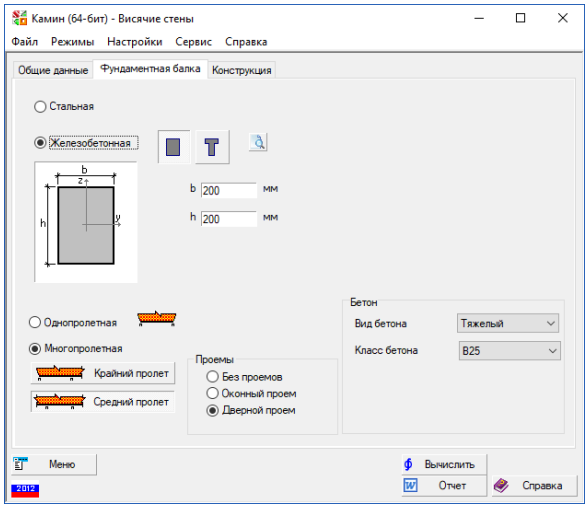


Рис. 8.12.1-2, *б*. *Страница* **Фундаментная балка** (балка железобетонная)

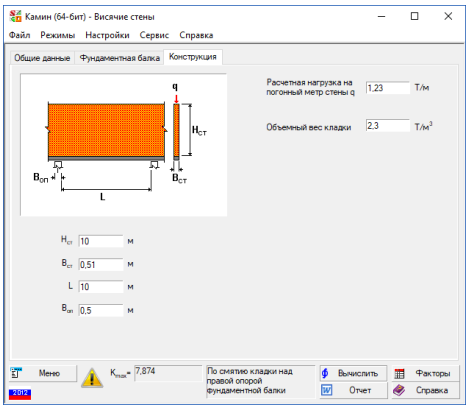


Рис. 8.12.1-3, *а*. *Страница* **Конструкция** (неразрезная балка, *крайний* пролет, проема нет)

Страница **Конструкция** (рис. 8.12.1-3,*а–в*) содержит сведения о конструкции стены, объемном весе материала кладки, длине проверяемого пролета, размерах опор и проемов.

На этой же странице необходимо задать расчетную нагрузку, приходящуюся на стену от вышележащих конструкций.

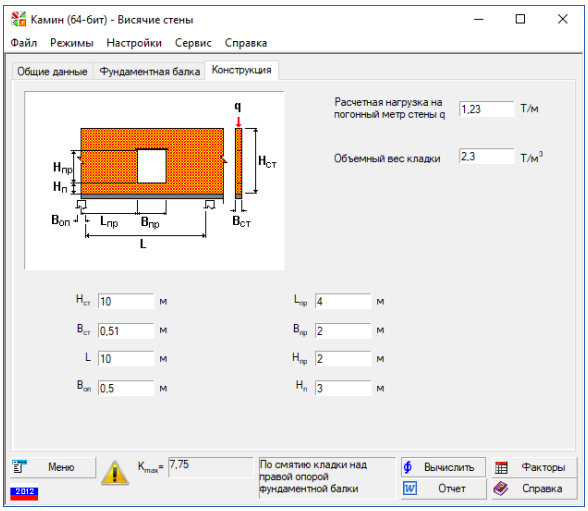


Рис. 8.12.1-3, *б. Страница* **Конструкция** (однопролетная балка, *оконный* проем)

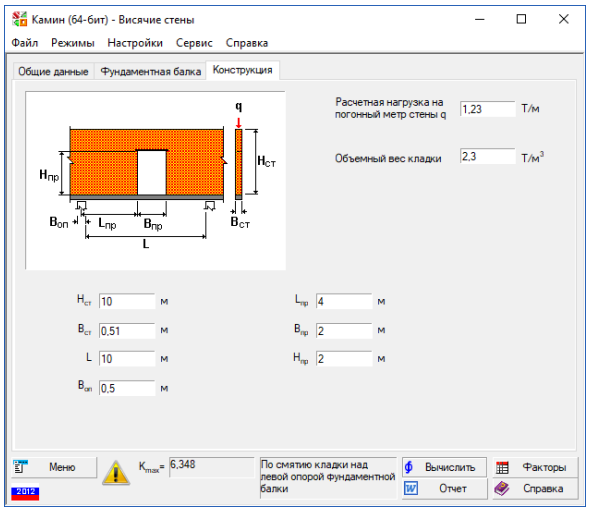


Рис. 8.12.1-3, *в. Страница* **Конструкция** (многопролетная балка, средний пролет, дверной проем)

Ограничения реализации

- прочность под опорами фундаментных балок не проверяется (не реализуется требование п.6.51, абзац 2 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, п. 9.57 абзац 2 СП 15.13330.2020);
- прочность самой обвязочной балки не проверяется также (не реализуется требование п.6.53 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, п. 9.59 СП 15.13330.2020);
- при определении жесткости ж/б балок принимается начальный модуль упругости бетона E_b, который в дальнейшем не корректируется;
- не реализовано требование п. 6.51 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98, третий абзац (п. 9.57 СП 15.13330.2020), относительно проверки сечений, расположенных выше фундаментной балки. В нашей реализации это сечение, расположенное на уровне низа оконного проема;
- при проверке прочности кладки над промежуточными опорами многопролетных балок, в случае попадания дверных проемов в область действия местных напряжений, коэффициент полноты эпюры напряжений ψ в части эпюры, которая отсекается, увеличивается пропорционально отношению полной и усеченной баз эпюры напряжений;
- ширина верха балки должна быть не менее толщины стены.

8.12.2 Опирание балок и плит на стену

Режим предназначен для проверки местной прочности каменной кладки в местах опирания балок и плит на стены. Реализуются требования п. 6.46 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (п. 9.52 СП 15.13330.2020) и п.7.3 Справочника проектировщика [5].

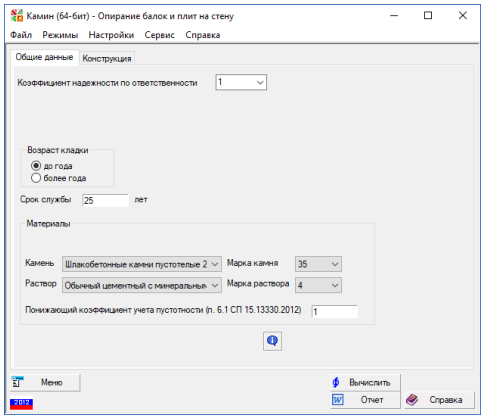
Предусмотрена проверка опирания сплошных железобетонных плит, стальных или железобетонных балок. Рассматриваются одиночные балки и плиты. Взаимное влияние близко расположенных конструкций не учитывается.

Все опирающиеся конструкции могут быть свободно оперты с обеих сторон, защемленные с обеих сторон, либо консольные.

Нагрузка на опирающиеся конструкции задается равномерно распределенная расчетная — для плит на единицу площади, для балок на единицу длины. При этом учитывается собственный вес опирающейся конструкции с коэффициентом надежности по нагрузке для стальных балок — 1,05, а для железобетонных балок и плит — 1,1.

Предусмотрены следующие конструктивные решения места опирания балок/плит на кладку:

- свободное опирание балок/плит на кладку;
- защемление балок/плит в кладке;



- защемление балок в кладке с устройством нижней стальной распределительной прокладки;
- защемление балок в кладке с устройством нижней и верхней стальных распределительных прокладок.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**.

Страница **Общие данные** (рис. 8.12.2-1) содержит общие данные о конструкции — коэффициент надежности по ответственности, возраст кладки, срок службы и данные о материале — применяемых камнях и растворах. Все эти данные описаны в разделе **Материалы**.

Рис. 8.12.2-1. *Страница* **Общие данные**

Страница **Конструкция** содержит сведения о толщине стены, материале и конструкции балки/плиты, условиях опирания, величинах пролета и глубины опирания/заделки на стену.

На этой же странице необходимо задать расчетную нагрузку, приходящую на балку/плиту от вышележащих конструкций.

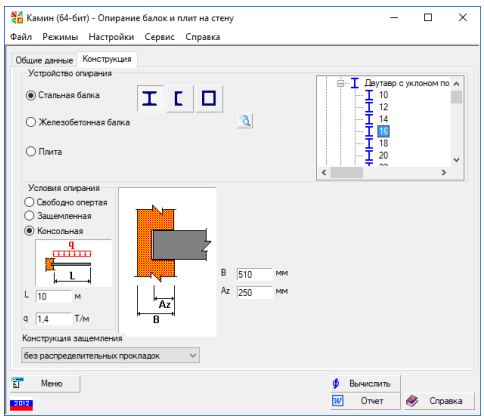


Рис. 8.12.2-2, *а*. *Страница* **Конструкция** (опирание консольной стальной балки)

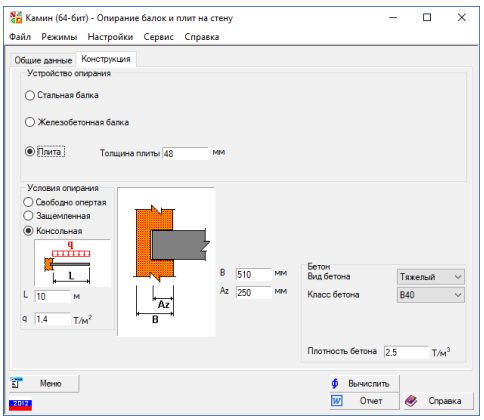


Рис. 8.12.2-2, *б*. *Страница* **Конструкция** (опирание консольной ж/б плиты)

Ограничения реализации

- прочность стальных прокладок не проверяется, предполагается, что она заведомо обеспечена;
- верхняя и нижняя прокладки приняты одинаковой ширины (в направлении, перпендикулярном плоскости стены);
- длина верхней прокладки не должна быть больше длины нижней;
- рекомендуется принимать ширину прокладки не менее 1/5 глубины заделки. В случае, когда ширина прокладки не удовлетворяет этому условию, пользователю рекомендуют увеличить ширину прокладки до необходимой величины;
- полезная ширина нижней прокладки определяется из условия (7.21) Справочника проектировщика [5]. В тех случаях, когда полезная ширина прокладки меньше, чем заданная пользователем, экспертиза не может быть выполнена.
- глубина заделки не определяется по формуле (54) СНиП; проверка заделки производится по формуле (53) СНиП.

8.12.3 Опирание балок и/или ферм на пилястры и столбы

Режим предназначен для проверки местной прочности каменной/армокаменной кладки в местах опирания балок и/или ферм на пилястры и столбы. Опирающаяся конструкция — одиночная балка/ферма с прямоугольной пятой опирания. Размер пяты опирания ограничен опорной частью конструкции или размером стальной прокладки в месте опирания.

При экспертизе реализуются п. 6.44 СНиП II-22-81, КМК 2.03.07-98 (п. 9.50 СП 15.13330.2020) и рекомендации § 5.6 книги П.Ф. Вахненко [1].

Поддерживающая конструкция — пилястра стены/столба.

Особенность поддерживающей конструкции в том, что балка/ферма опирается на часть кладки. Выше места опирания кладки нет. Возможно поперечное армирование кладки сетками под опорным участком. Сетки всегда располагаются по всей площади участка опирания, по всей ширине пилястры и по всей толщине стены.

Возможны следующие конструктивные решения места опирания:

- непосредственно на кладку;
- на распределительную железобетонную подушку, расположенную по всей ширине пилястры;
- на распределительную железобетонную подушку, расположенную по всей ширине пилястры через центрирующую стальную прокладку. При этом распределительная прокладка занимает всю ширину опирающейся конструкции и может выступать за нее.

Расчетная нагрузка от опирающейся конструкции задана в виде сосредоточенной силы.

Проверка на местное смятие при опирании непосредственно на кладку производится по сечению кладки под балкой/фермой, а при опирании на железобетонную подушку — по сечению кладки под подушкой.

Режим реализован в виде многостраничного окна, содержащего следующие страницы:

- **Общие данные**;
- **Конструкция**;
- **Данные об армировании**.

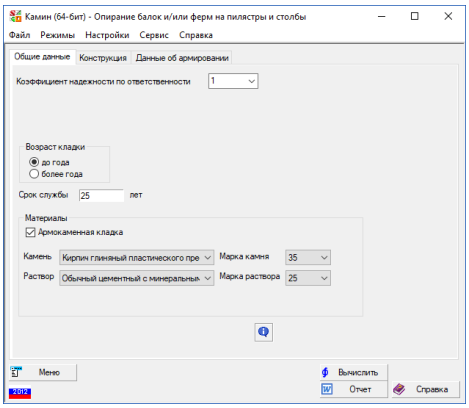


Рис. 8.12.3-1. *Страница* **Общие данные**

Страница **Общие данные** (рис. 7.9.3-1) содержит общие данные о конструкции — коэффициент надежности по ответственности, возраст кладки, срок службы и данные о материале — применяемых камнях и растворах. Все эти данные описаны в разделе **Материалы**.

На этой странице также указано, является ли кладка ниже места опирания каменной или армокаменной. В зависимости от этого пользователю доступен набор камней как для каменной, или как для армокаменной кладки в соответствии с общими правилами, принятыми в программе **Камин**.

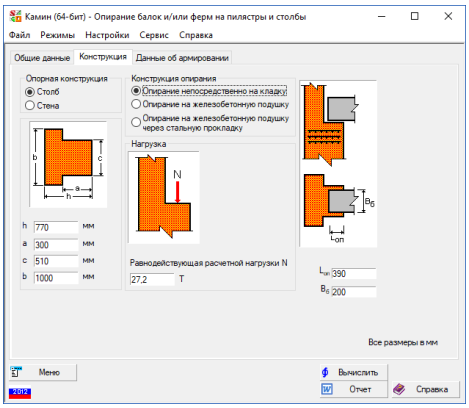


Рис. 8.12.3-2, *а. Страница* **Конструкция** (опирание непосредственно на столб с армированием участка в месте опирания)

Страница **Конструкция** (8.12.3-2,*а,б,в*)содержит сведения о столбе/стене, нагрузке, размерах площадки опирания, размерах железобетонной подушки и стальной прокладки.

При наличии железобетонной подушки необходимо также задать сведения о бетоне.

Материал и толщина стальной прокладки не задаются, прочность самой прокладки предполагается заведомо обеспеченной и не проверяется.

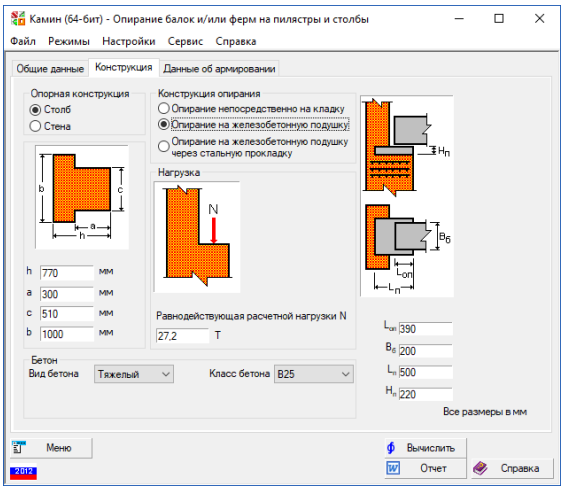


Рис. 8.12.3-2, *б. Страница* **Конструкция** (опирание на стену через ж/б подушку)

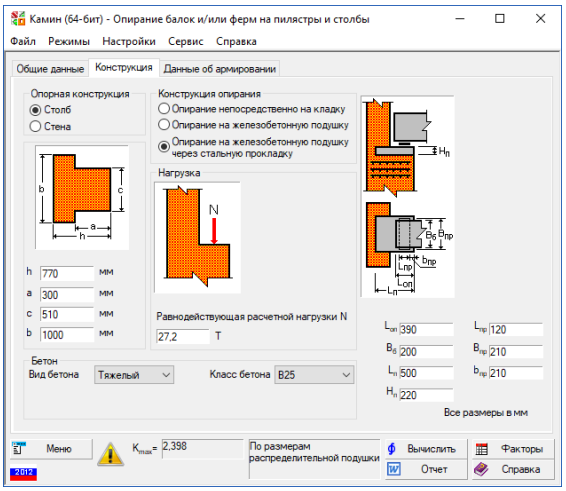


Рис. 8.12.3-2, *в. Страница* **Конструкция** (опирание на стену через ж/б подушку и центрирующую прокладку с армированием участка в месте опирания)

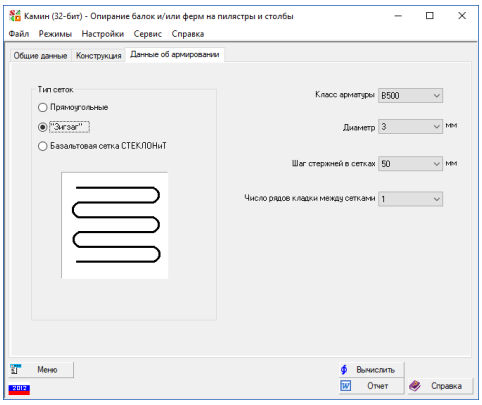


Рис. 8.12.3-3. *Страница* **Данные об армировании**

Страница **Данные об армировании** (рис. 8.12.3-3) содержит сведения об армировании участка столба/стены ниже места опирания.

Эта страница в точности повторяет соответствующую страницу раздела **Армокаменные конструкции**.

Ограничения реализации

- в случае опирания на стену при проверке на центральное сжатие ниже места опирания в расчет вводится условное сечение столба с большей стороной поперечного сечения, равной удвоенной ширине пилястры;
- равнодействующая нагрузки при проверке сечения кладки под подушкой считается приложенной на расстоянии 1/3 от внутреннего края подушки при отсутствии распределительной прокладки или от внутреннего края прокладки при ее наличии;
- проверка по растяжению швов кладки и арматуры (при армировании кладки ниже места опирания) выполняется только для случая опирания конструкции непосредственно на кладку. В основу проверки положен принцип, приведенный в § 5.6 книги П.Ф. Вахненко [1]. Всегда проверяется прочность вертикальных швов кладки на растяжение. Для неармированной кладки этот результат является окончательным. Для армированной кладки в том случае, когда прочность самой кладки на растя жение недостаточна, выполняется проверка прочности арматуры на растяжение.

8.13 Справочная информация

8.13.1 Объемные веса

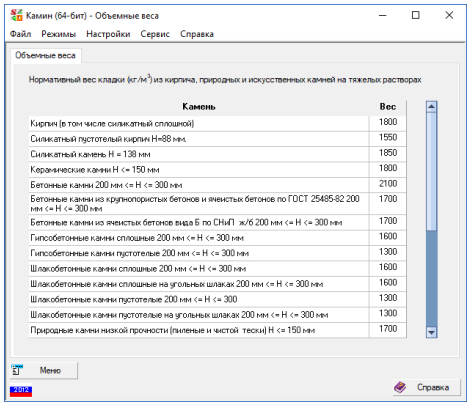


Рис. 8.13.1-1. *Страница*
Объемные веса

При активизации данного режима появляется таблица (рис. 8.13.1-1) со справочной информацией об объемных весах кладок на тяжелых растворах для всех используемых в программе типов камня.

8.13.2 Классификация повреждений

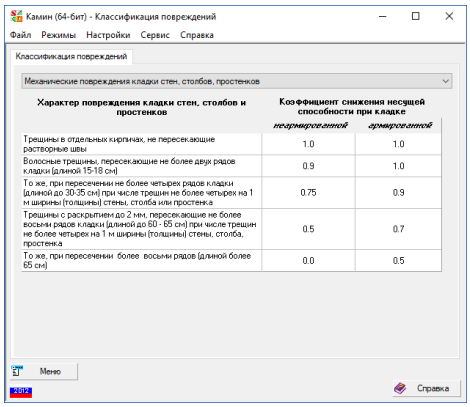


Рис. 8.13.2-1. *Страница*
Классификация повреждений

Этот раздел справочного режима (рис. 8.13.2-1) позволяет получить информацию о коэффициентах снижения несущей способности каменных и армокаменных конструкций при различных механических и огневых повреждениях, а также рекомендации по временному усилению в соответствии с Рекомендациями [3] и СП 427.1325800.2018.

Для получения нужной информации следует выбрать соответствующий пункт в выпадающем списке.

8.14 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Камин

Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Центрально сжатые столбы	Устойчивость при центральном сжатии	п. 4.1 СНиП II-22-81	п. 7.1 СП 15.13330.2012	п. 7.1 СП 15.13330.2020			п. 4.1 КМК 2.03.07-98
Внецентренно сжатые столбы	Устойчивость в плоскости эксцентриситета при внецентренном сжатии	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость из плоскости эксцентриситета при центральном сжатии	п. 4.11 СНиП II-22-81	п. 7.11 СП 15.13330.2012	п. 7.11 СП 15.13330.2020			п. 4.11 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98
Стена	Устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при внецентренном сжатии нижнего сечения	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98

Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
	Устойчивость простенка в плоскости стены	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98
	Прочность кладки в верхнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в среднем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в нижнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в верхнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в среднем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в нижнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	

Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Стена подвала	Устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием над подвалом	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при центральном сжатии нижнего сечения	п. 4.1 СНиП II-22-81	п. 7.1 СП 15.13330.2012	п. 7.1 СП 15.13330.2020			п. 4.1 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98
	Прочность кладки в верхнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в среднем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в нижнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в верхнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в среднем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	

Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в нижнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
Перемычки	Устойчивость перемычки	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах крайнего простенка	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче) крайнего простенка	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Прочность затяжки	п. 5.1 СНиП II-23-81*.	п. 8.1 СП 15.13330.2012	п. 8.1 СП 15.13330.2020			п. 7.1 КМК 2.03.05-97
	Прочность по предельному моменту сечения	п. 3.15-3.17, 3.26 СНиП 2.03.01-84*					п. 3.15-3.17, 3.26 КМК 2.03.01-96
	Прочность с учетом сопротивления бетона растянутой зоны	п. 3.8 СНиП 2.03.01-84*	п. 6.8 СП 15.13330.2012	п. 6.11 СП 15.13330.2020			п. 3.8 КМК 2.03.01-96
	Деформация в сжатом бетоне		пп. 6.2.21-6.2.31 СП 63.13330	пп. 6.2.21-6.2.31 СП 63.13330			
	Деформация в растянутой арматуре		пп. 6.2.21-6.2.31 СП 63.13330	пп. 6.2.21-6.2.31 СП 63.13330			
	Прочность по наклонной полосе между наклонными трещинами	п. 3.30 СНиП 2.03.01-84*	п. 8.1.33 СП 63.13330	п. 8.1.33 СП 63.13330			п. 3.30 КМК 2.03.01-96
	Прочность по наклонной полосе без поперечной арматуры	п. 3.32 СНиП 2.03.01-84*	п. 8.1.33 СП 63.13330	п. 8.1.33 СП 63.13330			п. 3.32 КМК 2.03.01-96
	Прочность по наклонной трещине	п. 3.31 СНиП 2.03.01-84*	п. 8.1.33 СП 63.13330	п. 8.1.33 СП 63.13330			п. 3.31 КМК 2.03.01-96

Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
КАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
	Местная прочность под опорой железобетонной перемычки	п. 4.13 СНиП II-22-81	п. 7.13 СП 15.13330.2012	п. 7.13 СП 15.13330.2020			п. 4.13 КМК 2.03.07-98
	Прогиб железобетонной перемычки	п. 10.1 СНиП 2.01.07-85*	п. 15 СП 20.13330	п. 15 СП 20.13330			п. 10.1 КМК 2.01.07-96
Местная прочность	Смятие под действием местной нагрузки	п. 4.13 СНиП II-22-81	п. 7.13 СП 15.13330.2012	п. 7.13 СП 15.13330.2020	п. 6.1.3(2) EN 1996-1-1	п. 11.1.3.2	пп. 4.13, 6.46 КМК 2.03.07-98

АРМОКАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	Проверяемые факторы	Пункты нормативных документов					
		СНиП II-22-81	СП 15.13330.2012	СП 15.13330.2020	EN 1996-1-1	ДБН В.1.2.2-2006	КМК 2.03.07-98
Армированные центрально сжатые столбы	Устойчивость при центральном сжатии	п. 4.30 СНиП II-22-81	п. 7.30 СП 15.13330.2012	п. 7.31 СП 15.13330.2020			п. 4.30 КМК 2.03.07-98
Армированные внецентренно сжатые столбы	Устойчивость в плоскости эксцентриситета при внецентренном сжатии	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость из плоскости эксцентриситета при центральном сжатии	п. 4.30 СНиП II-22-81	п. 7.30 СП 15.13330.2012	п. 7.31 СП 15.13330.2020			п. 4.30 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98

АРМОКАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
	Устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
Армированная наружная стена	Устойчивость при внецентренном сжатии нижнего сечения	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость простенка в плоскости стены	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98
	Прочность кладки в верхнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в среднем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в нижнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	

АРМОКАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в верхнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в среднем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в нижнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
Армированная стена подвала	Устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием над подвалом	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения	п. 4.31 СНиП II-22-81	п. 7.31 СП 15.13330.2012	п. 7.32 СП 15.13330.2020			п. 4.31 КМК 2.03.07-98
	Устойчивость при центральном сжатии нижнего сечения	п. 4.30 СНиП II-22-81	п. 7.30 СП 15.13330.2012	п. 7.31 СП 15.13330.2020			п. 4.30 КМК 2.03.07-98
	Срез в швах	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98
	Срез в камне (кирпиче)	п. 4.20 СНиП II-22-81	п. 7.20 СП 15.13330.2012	п. 7.20 СП 15.13330.2020			п. 4.20 КМК 2.03.07-98

АРМОКАМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
	Раскрытие швов кладки	п. 5.3 СНиП II-22-81	п. 8.3 СП 15.13330.2012	п. 8.3 СП 15.13330.2020			п. 5.3 КМК 2.03.07-98
	Прочность кладки в верхнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в среднем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки в нижнем сечении				п.6.1.2.1(1) ф-ла (6.1) EN 1996-1-1	п.11.1.2.1.1 ф-ла (11.1)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в верхнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в среднем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
	Прочность кладки при действии усилий среза (сдвига) в нижнем сечении				п. 6.2(1) ф-ла (6.12) EN 1996-1-1	п. 11.2.1 ф-ла (11.12)	
Местная прочность армированных конструкций	Смятие под действием местной нагрузки	п. 4.13 СНиП II-22-81	п. 7.13 СП 15.13330.2012	п. 7.13 СП 15.13330.2020	п. 6.1.3(2) EN 1996-1-1	п. 11.1.3.2	п. 4.13 КМК 2.03.07-98

РЕКОНСТРУИРУЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
Центрально сжатые столбы, усиленные обоймами	Устойчивость при центральном сжатии	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
Внецентренно сжатые столбы, усиленные обоймами	Устойчивость в плоскости эксцентриситета при внецентренном сжатии	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
	Устойчивость из плоскости эксцентриситета при центральном сжатии	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
Усиление обоймами стены здания	Устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
	Устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
	Устойчивость при внецентренном сжатии нижнего сечения	п. 5.38 Пособия [2], п. 5.45 Руководства [4]	п. 8.25 СП 427.1325800.2018	п. 8.25 СП 427.1325800.2018			
Проем в стене	Устойчивость перемычки	п. 4.7 СНиП II-22-81	п. 7.7 СП 15.13330.2012	п. 7.7 СП 15.13330.2020			п. 4.7 КМК 2.03.07-98

РЕКОНСТРУИРУЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
	Нормальные напряжения в стальной перемычке	п. 5.12 СНиП II-23-81*	п. 8.2.1 СП 16.13330	п. 8.2.1 СП 16.13330			п. 7.12 КМК 2.03.05-97
	Касательные напряжения в стальной перемычке	п. 5.12 СНиП II-23-81*	п. 8.2.1 СП 16.13330	п. 8.2.1 СП 16.13330			п. 7.12 КМК 2.03.05-97
	Прогиб стальной перемычки	п. 10.1 СНиП 2.01.07-85*	п. 15.1 СП 20.13330	п. 15.1 СП 20.13330			п. 10.1 КМК 2.01.07-96
	Местная прочность под опорой стальной перемычки	п. 4.13 СНиП II-22-81	п. 7.13 СП 15.13330.2012	п. 7.13 СП 15.13330.2020			п. 4.13 КМК 2.03.07-98

УЗЛЫ ОПИРАНИЯ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
Висячие стены	По смятию кладки над опорой фундаментной балки	пп. 4.13, 6.48, 6.51 СНиП II-22-81 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.48, 9.51 СП 15.13330.2012 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.54, 9.57 СП 15.13330.2020 14.2 Справочника проектировщика [5]			пп. 4.13, 6.48, 6.51 КМК 2.03.07-98
	По смятию кладки над левой опорой фундаментной балки	пп. 4.13, 6.48, 6.51 СНиП II-22-81 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.48, 9.51 СП 15.13330.2012 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.54, 9.57 СП 15.13330.2020 14.2 Справочника проектировщика [5]			пп. 4.13, 6.48, 6.51 КМК 2.03.07-98

УЗЛЫ ОПИРАНИЯ							
Режим	**Проверяемые факторы**	**Пункты нормативных документов**					
		СНиП II-22-81	**СП 15.13330.2012**	**СП 15.13330.2020**	**EN 1996-1-1**	**ДБН В.1.2.2-2006**	**КМК 2.03.07-98**
	По смятию кладки над правой опорой фундаментной балки	пп. 4.13, 6.48, 6.51 СНиП II-22-81 п. 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.48, 9.51 СП 15.13330.2012 п. 14.2 Справочника проектировщика [5]	пп. 9.54, 9.57 СП 15.13330.2020 п. 14.2 Справочника проектировщика [5]			пп. 4.13, 6.48, 6.51 КМК 2.03.07-98
Опирание балок и плит на стену	По смятию кладки под опорой плиты По смятию кладки над плитой По смятию кладки под опорой балки По смятию кладки над балкой По смятию кладки под нижней подкладкой По смятию кладки над верхней подкладкой	п. 4.13 СНиП II-22-81 п. 7.3 Справочника проектировщика [5]	п. 9.46 СП 15.13330.2012 п. 7.3 Справочника проектировщика [5]	п. 9.46 СП 15.13330.2020 п. 7.3 Справочника проектировщика [5]			пп. 4.13, 6.46 КМК 2.03.07-98
Опирание балок и/или ферм на пилястры и столбы	По размерам распределительной подушки	П.Ф. Вахненко § 5.6. [1]	П.Ф. Вахненко § 5.6. [1]	П.Ф. Вахненко § 5.6. [1]			
	По центральному сжатию сечения ниже места опирания	п. 6.44 СНиП II-22-81	п. 9.44 СП 15.13330.2012	п. 9.44 СП 15.13330.2020			п 6.44 КМК 2.03.07-98
	По растяжению швов кладки ниже места опирания	П.Ф.Вахненко § 5.6. [1]	П.Ф.Вахненко § 5.6. [1]	П.Ф.Вахненко § 5.6. [1]			
	По растяжению арматуры ниже места опирания						
	По смятию кладки под опирающейся конструкцией	п. 6.44 СНиП II-22-81	п. 9.44 СП 15.13330.2012	п. 9.44 СП 15.13330.2020			п 6.44 КМК 2.03.07-98

8.15 Литература

[1] Вахненко П.Ф. Каменные и армокаменные конструкции. – К.: Будівельник, 1978. – 184 с.

[2] Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. М. – Стройиздат, 1989. – 185 с.

[3] Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. М. – Стройиздат, 1984. – 37 с.

[4] Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-В.2-71) / ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. М. – Стройиздат, 1974. – 183 с.

[5] Справочник проектировщика Каменные и армокаменные конструкции. – М.,Стройиздат, 1968. –175 с.

9. Программа КОМЕТА

9.1 Общие сведения

Программа **КОМЕТА** предназначена для экспертизы принятых проектных решений и проектирования наиболее распространенных типов узлов стержневых металлических конструкций зданий и сооружений в промышленном и гражданском строительстве. С помощью программы можно выполнить экспертизу принятого проектного решения в соответствии с требованиями одного из следующих нормативных документов

- СНиП II-23-81*,
- ШНК 2.03.05-13,
- СП 53-102-2004,
- СП 16.13330 (актуализированная редакция СНиП II-23-81*),
- ДБН В.2.6-163:2010,
- ДБН В.2.6-198:2014,
- EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8: 2005,
- СНиП РК 5.04-23-2002.

а также запроектировать узел на основании принятого прототипа.

В отличие от изобретательства проектирование по прототипу предполагает использование известных решений. Такой подход реализован в программе **КОМЕТА**, которая базируется на применении набора параметризированных конструктивных решений узлов (прототипов). Параметры прототипа зависят от заданных условий проектирования (материала, внутренних усилий и т.д.) и не могут быть определены независимо друг от друга, поскольку между ними обычно существуют определенные взаимосвязи.

Программа **КОМЕТА** ориентирована на указанный выше подход и позволяет повысить производительность труда проектировщика за счет возможности работы с широким набором прототипов и избавления высококвалифицированных специалистов от рутинной части работы по увязке и проверке значений параметров на их соответствие требованиям норм и условиям проектирования.

Для принятого технического решения узла определяются все его параметры, удовлетворяющие нормативным требованиям, а также ряду конструктивных и сортаментных ограничений. Нормативные требования, как и конструктивные ограничения, предусмотренные нормами, являются обязательными, их нарушение не допускается. Однако имеются и такие конструктивные ограничения, нарушение которых вызывает только предупреждение, и программа может получить решение с такого рода нарушениями.

Технология работы с программой **КОМЕТА** является весьма гибкой. Исходными данными для автоматизированного проектирования узлов металлоконструкций являются конфигурация или тип узла, тип и размеры поперечных сечений несущих элементов, сопрягаемых в данном узле, а также усилия, действующие в этих элементах для произвольного количества расчетных комбинаций нагружений.

На этапе **Проектирование** (при нажатии одноименной кнопки) программа совершает подбор рационального проектного решения конструкции узла, удовлетворяющее всем нормативным требованиям, а также ряду конструктивных и сортаментных ограничений. Пользователю предоставляется возможность согласиться с предложенным решением или откорректировать его по собственному усмотрению с целью учета:

- принятой технологии изготовления конструкций;
- унификации решения в рамках проекта или в других принятых границах применения (проектной организации, завода-изготовителя и др.);
- использования нормализованных решений, обычно применяемых на предприятии;
- системы контроля качества продукции, принятой системы маркировки и др.

На этапе **Вычислить** (при нажатии одноименной кнопки) выполняется диагностика проектного

решения узла и генерируется чертеж, который представляет собой эскиз проектного решения узла с детализацией его параметров (близкий к стадии КМ). С целью реализации возможности по доработке полученного технического решения узла, а также для возможных изменений формы представления чертежей (например, системы простановки размеров, некоторых условных обозначений и др.) предусмотрена возможность экспорта графических результатов работы программы в формат DXF-файлов системы AutoCAD.

Во всех расчетных режимах работы программы (кроме режима **Сопряжение ригеля с колонной**) принято, что все элементы, сходящиеся в узле, и вспомогательные элементы сопряжения (фасонки, ребра, опорные столики и др.) выполнены из одной стали.

Экспертиза и проектирование узлов, как правило, выполняется на действие нескольких нагружений или их сочетаний, которые могут быть заданы пользователем. Следует заметить, что последовательность задания сочетаний нагрузок в некоторых случаях может влиять на результат проектирования.

По построению, заложенным предпосылкам, выполняемым проверкам, конструктивным ограничениям и рекомендациям СНиП II-23-81*, ШНК 2.03.05-13, СП 53-102-2004, СП 16.13330, ДБН В.2.6-163:2010 и ДБН В.2.6-198:2014 являются весьма близкими документами. Поскольку в программе **КОМЕТА** набор решаемых задач одинаков для упомянутых нормативных документов, то везде в тексте общие смысловые ссылки на СНиП следует понимать расширительно, как такие же смысловые ссылки и на ШНК 2.03.05-13, СП 53-102-2004, СП 16.13330, ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014.

Детальному описанию ветки программы **КОМЕТА**, реализующей требования норм EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8: 2005, посвящен отдельный раздел этой книги (см. главу далее).

9.2 Алгоритм принятия решений

Программная реализация автоматизированного подбора неизвестных параметров конструкции узла заданного типа была сведена к задаче **принятия решения** на базе анализа математической модели конструкции узла. Ниже приведем некоторые дополнительные комментарии, целью которых является описание ряда общих положений алгоритма принятия решений, которые заложены в концепцию разработки программы **КОМЕТА** и должны учитываться пользователем.

Для каждой группы узлов (базы колонн, стыки балок, сопряжения ригелей с колонной) определялась конечная совокупность *внутренних* (входящих) параметров $\vec{P} = \{P_n\}$, $n = \overline{1, N_P}$, среди которых выделялось множество *управляемых* параметров $\vec{X} = \{X_i\} \subset \vec{P},\ i = \overline{1, N_X}$ и множество *подчиненных* параметров $\vec{Y} = \{Y_j\} \subset \vec{P},\ j = \overline{1, N_Y}$, $\vec{P} = \vec{X} \bigcup \vec{Y}$. Специфика объекта проектирования (узла конструкции) состоит в том, что его управляемые параметры могут быть как независимыми, так и зависимыми между собой (как например, толщина фланца и диаметр болтов во фланцевых соединениях), и эту зависимость трудно представить аналитически; в то время как подчиненные параметры всегда можно однозначно определить (вычислить) в зависимости от значений управляемых параметров, $\vec{Y} = \mathbf{\Theta}\{\vec{X}\}$. Для примера, если рассмотреть монтажный стык балок на фланцевом соединении, то управляемыми параметрами будут толщина фланца, диаметр болтов и количество рядов болтов, а подчиненными параметрами – остальные параметры узла (ширина и высота фланца, размеры подкрепляющих фланец ребер и т.д.).

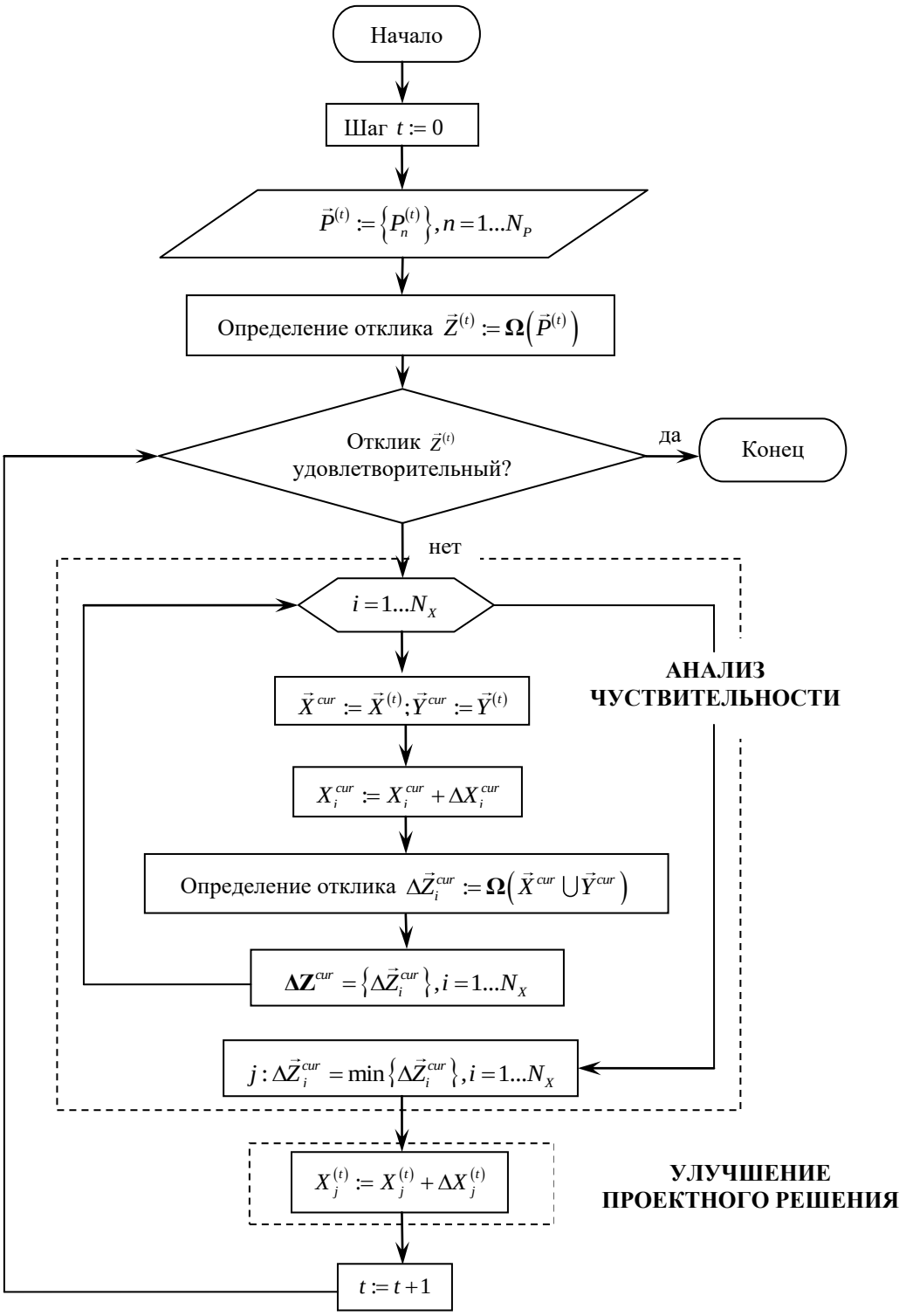


Рис. 9.2-1. *Блок-схема алгоритма принятия решения при подборе параметров узла конструкции*

В математическую модель конструкции узла были также включены *параметры состояния* (исходящие) $\vec{Z} = \{Z_k\}, k = \overline{1, N_Z}$, $k = \overline{1, N_Z}$ – величины, характеризующие интегральные свойства объекта проектирования. Параметры состояния можно лишь вычислить: $\vec{Z} := \mathbf{\Omega}\left(\vec{P}\right)$, но непосредственно варьировать ими нельзя. Они являются однозначно зависимыми от значений внутренних параметров объекта проектирования (узла конструкции). В качестве параметров состояния рассматривались **коэффициенты использования ограничений** несущей способности конструктивных элементов узла, регламентированные нормами.

Выбор определенного проектного решения конструкции узла – это определение конкретных значений всей совокупности его внутренних параметров.

При принятии решения значения внутренних параметров варьировались в некоторых пределах, определяемых системой неравенств:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\varphi}_1\left(\vec{P}\right) \le 0,\ \boldsymbol{\varphi}_1 = \{\psi_\kappa,\ \phi_\eta\}; \\ \boldsymbol{\varphi}_2\left(\vec{Z}\left(\vec{P}\right)\right) \le 0,\ \boldsymbol{\varphi}_2 = \{\psi_\kappa,\ \phi_\eta\}; \end{cases} \quad \kappa = \overline{1, N_{EC}},\ \eta = \overline{1, N_{IC}}, \tag{9.2-1}$$

куда были включены:

- *ограничения по несущей способности* элементов, входящих в состав узла (строго говоря, несущая способность стержневых элементов, входящих в состав узла, должна быть обеспечена до начала проектирования или экспертизы узла. Выполняемые проверки являются дополнительными мажоритарными, проверяется только прочность элементов при работе их в упругой стадии), регламентированные строительными нормами;
- *ограничения сортамента* металлопроката фасонной и листовой стали;
- *конструктивные ограничения*, в составе которых нашли свое отображение условия изготовления элементов узлов, ограничения, накладываемые на размещение элементов относительно друг друга, обусловленные возможностью устройства сварных и болтовых соединений, условия свариваемости элементов различной толщины и другие.

Автоматизированный подбор неизвестных значений внутренних параметров конструктивного решения узла реализован как целенаправленное многократное улучшение некоторого начального проектного решения узла в сторону удовлетворения ограничений несущей способности с учетом конструктивных и сортаментных ограничений. Многократное улучшение проектного решения совершается на базе **анализа его чувствительности** по отношению к варьированию управляемых параметров конструкции узла. По желанию пользователя некоторые внутренние параметры узла (как управляемые, так и подчиненные) могут быть зафиксированы. В таком случае поиск проектного решения будет совершаться при фиксированных значениях заданных пользователем параметров узла.

При каждой вариации того или иного управляемого параметра оценивается отклик системы – значения коэффициентов использования ограничений несущей способности. Окончательно принимается решение о наращивании того управляемого параметра, чья вариация обеспечила «наилучшее» (с точки зрения удовлетворения ограничений несущей способности) проектное решение конструкции узла.

Сортаментные ограничения учитываются как на этапе определения стартовых значений внутренних параметров конструкции узла, так и на этапе их варьирования (наращивания), которое предусмотрено строго согласно сортаменту металлопроката листовой и фасонной стали.

Конструктивные ограничения (куда отнесены условия изготовления конструктивных элементов, ограничения, накладываемые на размещение элементов относительно друг друга, обусловленные возможностью устройства сварных и болтовых соединений, условия свариваемости элементов различной толщины и другие) описывались функциональными зависимостями, которые связывали подчиненные параметры конструкции узла с управляемыми.

Блок-схема алгоритма принятия решения представлена на рис. 9.2-1.

В том случае, когда при заданных пользователем исходных данных невозможно получить техническое решение узла, удовлетворяющее нормам проектирования, программа выполняет анализ несущей способности (диагностику) проектного решения узла, выводит результаты расчета и приводит рекомендации по улучшению его несущей способности.

9.3 Главное окно

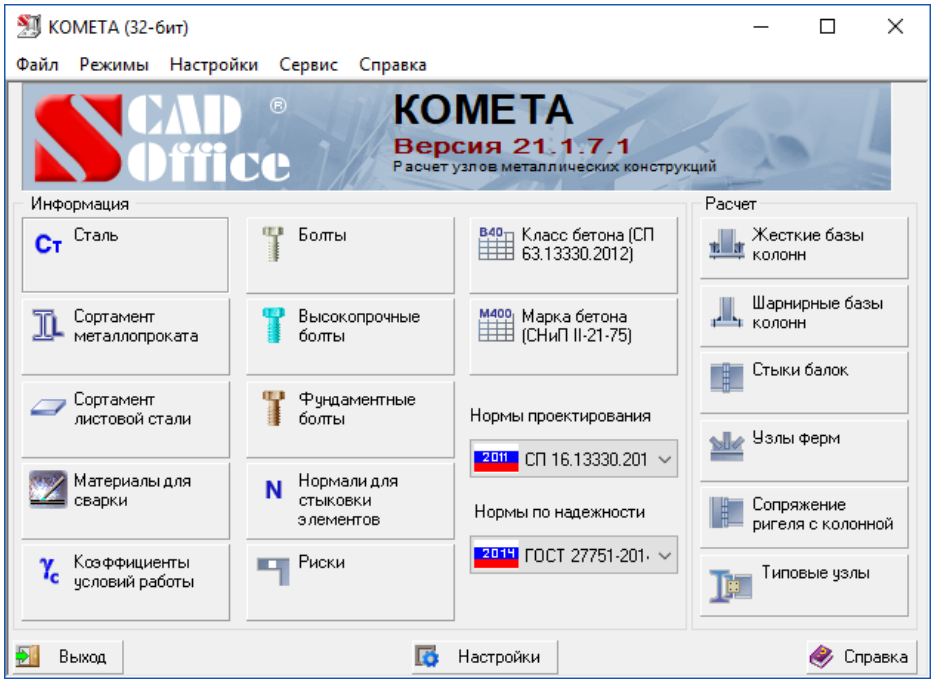


Рис. 9.3-1. *Главное окно* программы **КОМЕТА**

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно (рис. 9.3-1), содержащее набор кнопок для выбора режима работы. Эти режимы можно разделить на две группы:

- *информационные режимы*, выполняющие справочные и вспомогательные операции, объединенные в группу **Информация**;
- *расчетные режимы*, реализующие экспертизу и проектирование узлов металлических конструкций, объединенные в группу **Расчет**.

Детальное описание каждого из режимов приводится в последующих разделах. Представим здесь их краткую характеристику.

Информационные режимы представлены следующим набором:

- **Сталь** – режим, функцией которого является реализация рекомендаций строительных норм по выбору марок стали (табл. 50* СНиП II-23-81* и приложение В СП 53-102-2004, СП 16.13330, и приложение Е ДБН В.2.6-163:2010, и приложение Г ДБН В.2.6-198:2014). Кроме того, выдаются справки о соответствии классов стали по СНиП II-23-81* (по ГОСТ 27772-88*) маркам стали по ГОСТ или ТУ (табл. 51, б СНиП II-23-81*) и справочные данные о расчетных сопротивлениях по таблицам соответствующего нормативного документа.
- **Сортамент металлопроката** – режим, который дает возможность просмотра сортаментов фасонной стали;
- **Сортамент листовой стали** – режим, который дает возможность просмотра сортамента листовой стали;
- **Материалы для сварки** – режим, в котором реализованы требования разделов реализованных нормативных документов в части выбора материалов для сварных соединений и расчетных сопротивлений сварных соединений;
- **Коэффициенты условий работы** – режим, предназначенный для просмотра и выбора значений коэффициентов условий работы элементов металлических конструкций и сварных соединений (γ_c), а также коэффициентов условий работы болтовых соединений и соединений на

высокопрочных болтах (γ_b) по рекомендациям реализованных нормативных документов;

- **Болты** – режим, обеспечивающий возможность просмотра сортамента болтов с указанием их рекомендуемых классов в зависимости от заданных условий эксплуатации конструкции и предполагаемого характера работы болтового соединения.
- **Высокопрочные болты** – режим, содержащий сведения о конструкции, размерах и механических свойствах высокопрочных болтов, а также о перечне гаек и шайб для таких болтов с указанием их размеров и геометрических характеристик;
- **Фундаментные болты** – режим, предназначенный для просмотра справочной информации о типах фундаментных болтов, с указанием расчетного сопротивления растяжению;
- **Нормали для стыковки элементов** – режим, в котором приводятся характеристики равнопрочных стыков прокатных элементов, соединяемых с помощью сварки на накладках;
- **Риски** – режим, предназначенный для получения справки о рекомендуемом расположении болтовых отверстий в прокатных профилях;
- **Класс бетона** – информационный режим, позволяющий определить нормативное сопротивление бетона, а также расчетное сопротивление для первой и второй групп предельных состояний в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие в соответствии со СНиП 2.03.01-84*;
- **Марка бетона** – режим, где предоставлена возможность просмотра значений расчетных и нормативных сопротивлений бетона различных марок в соответствии со СНиП II-21-75, а также приведена информация о соотношении марок и классов бетона в соответствии с ГОСТ 26633-91.

В группу *расчетных режимов* входят:

- **Жесткие базы колонн** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования узлов баз колонн, реализующих жесткое закрепление колонны в фундаменте;
- **Шарнирные базы колонн** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования шарнирных узлов баз колонн;
- **Стыки балок** – режим, служащий для экспертизы и проектирования стыков балок, выполненных с помощью накладок или на фланцах;
- **Узлы ферм** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования узлов ферм;
- **Сопряжение ригеля с колонной** – режим экспертизы и проектирования конструктивных решений шарнирных и жестких узлов сопряжений ригеля с колонной;
- **Типовые узлы** – режим для проектирования типовых узлов сопряжений балок в одном уровне, выполненных на болтах или с помощью опорного уголка.

Обращение к любому из указанных режимов приводит к появлению многостраничного диалогового окна, с помощью которого выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

В главном окне программы располагается ряд кнопок, являющихся общими элементами управления для всех режимов работы. К ним относятся кнопки: **Выход**, **Настройки** и **Справка**. Кнопки **Справка** и **Выход** выполняют обычные для Windows-приложений функции – запрос справочной информации и прекращение работы программы, соответственно.

Кнопка **Настройки** предназначена для открытия диалогового окна **Настройки приложения**, с помощью которого выполняется настройка общих параметров работы программы (см. раздел 2.2).

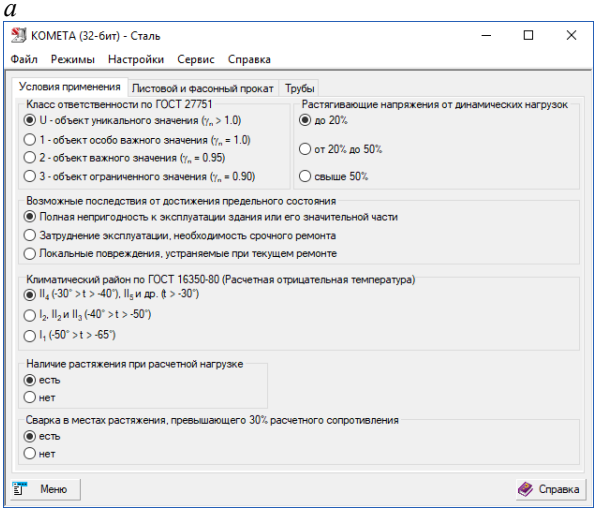
Для возвращения в главное окно программы **КОМЕТА** во всех режимах используется кнопка **Меню**.

9.4 Информационные режимы

9.4.1 Сталь

Информационный режим **Сталь** предназначен для выбора марки стали проектируемой конструкции и ее элементов и содержит три станицы: **Условия применения** (рис. 9.4.1-1), **Листовой и фасонный прокат** (рис. 9.4.1-2, 9.4.1-4) и **Трубы** (рис. 9.4.1-3, 9.4.1-5).

а



б

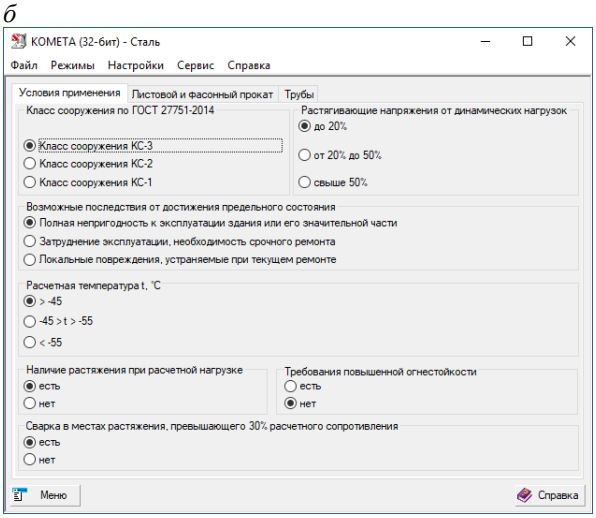


Рис. 9.4.1-1. *Страница* **Условия применения** *режима* **Сталь**:
а – для СНиП II-23-81*; *б* – для СП 16.13330

Страница **Условия применения** (рис. 9.4.1-1) содержит шесть групп данных.

Выбор стали осуществляется для четырех групп конструкций в соответствии с:

- таблицей 50* СНиП II-23-81*;
- приложением В СП 53-102-2004;
- приложением В СП 16.13330;
- приложением Е ДБН В.2.6-163:2010,
- приложением Г ДБН В.2.6-198:2014.

Методика отнесения конструкции к определенной группе приведена в работе [2], ДБН В.2.6-163:2010 и ДБН В.2.6-198:2014.

В группе **Класс ответственности по ГОСТ 27751-88** необходимо выбрать один из четырех нормируемых случаев, при этом необходимо помнить, что коэффициент безопасности по ответственности γ_n для уникальных объектов, вообще говоря, определяется индивидуально по решению органов, утверждающих проект. По умолчанию для таких объектов принято $\gamma_n = 1{,}2$.

В группе **Возможные последствия от достижения предельного состояния** предлагается выбор одного из трех классов ответственности рассматриваемого конструктивного элемента. В работе [2], ДБН В.2.6-163:2010 и ДБН В.2.6-198:2014 даны рекомендации по отнесению некоторых конструкций к одному из этих классов. Классы А, Б и В соответствуют трем градациям рассматриваемой группы. Эта градация является точной для ДБН, но может быть применена и в других случаях. Ниже приводятся необходимые выдержки из этих рекомендаций.

Конструкции рабочих и технологических площадок:

- главные и второстепенные балки, ригели рам — А;
- металлический настил — Б.

Колонны производственных зданий и открытых крановых эстакад:

- стойки рабочих и технологических площадок — А;
- основные элементы поперечного сечения — А;
- основные вертикальные связи по колоннам — А;
- связи с напряжением менее $0{,}4R_y$ — В.

Конструкции покрытия:
- фермы, ригели — А;
- фонарные панели, щиты кровли, прогоны, продольные связи — Б;
- прочие связи — В.

Конструкции фахверка:
- ригели под кирпичные стены и над воротами — А;
- стойки, торцевые и ветровые фермы — Б;
- прочие элементы — В.

Вспомогательные конструкции:
- косоуры лестниц — А;
- переходные площадки, импосты, оконные и фонарные переплеты — В.

Транспортерные галереи:
- пролетные строения, связи по колоннам — А;
- прочие связи, балки покрытий, элементы фахверка — Б.

Опоры воздушных линий электропередач (ВЛ) и конструкции открытых распределительных устройств (ОРУ):
- опоры ВЛ, опоры под выключатели ОРУ — А;
- опоры под другое оборудование ОРУ — Б.

Антенные устройства:
- стволы мачт и башен — А;
- диафрагмы башен, лестницы, переходные площадки — Б.

Вытяжные башни и дымовые трубы:
- пояса и решетка башен, оболочка свободностоящей трубы — А;
- газоотводящие стволы, оболочки труб с оттяжками — Б;
- площадки, опорные кольца, ребра жесткости — В.

Градирни, водонапорные башни:
- пояса решетчатых башен, решетка — А;
- фахверк, площадки, обшивка градирен — В.

Бункеры, силосы — А.

В других группах выполняется выбор характеристик напряженного состояния (**Наличие растяжения при расчетной нагрузке** и **Растягивающие напряжения от динамических нагрузок**), а также указывается температурный режим эксплуатации (**Климатический район по ГОСТ 16350-80**). Последняя группа требует указания на наличие сварки в зоне растяжения (**Сварка в местах растяжения, превышающего 30% расчетного сопротивления**).

При расчетах по СП 53-102-2004 или СП 16.13330 при учете требований повышенной огнестойкости в соответствии с требованиями п. 6.2 СП 53-102-2004 (п. 5.2 СП 16.13330) выбирается специальная сталь повышенной огнестойкости.

После заполнения всех данных первой страницы необходимо указать на закладку **Листовой и фасонный прокат** или **Трубы**, после чего откроется вторая страница рассматриваемого окна.

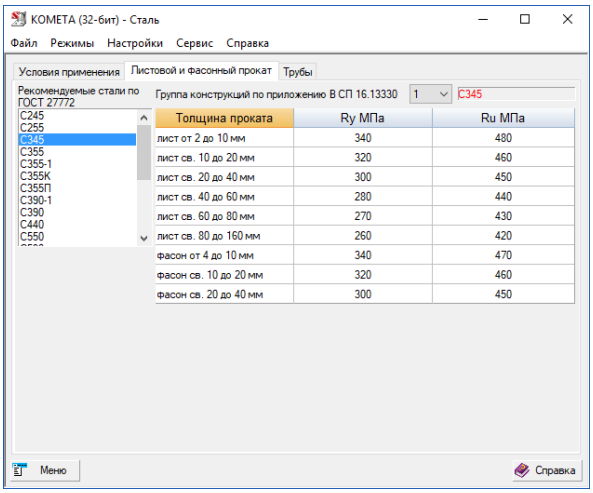


Рис. 9.4.1-2. *Страница* **Листовой и фасонный прокат** *режима* **Сталь**

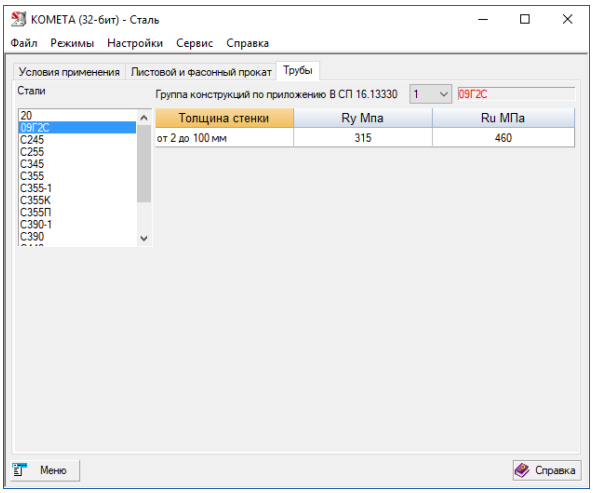


Рис. 9.4.1-3. *Страница* **Трубы** *режима* **Сталь**

При проектировании согласно СНиП, СП и ДБН страница (рис. 9.4.1-2) содержит ссылку на группы конструкций по

- таблице 50* СНиП II-23-81*;
- приложению В СП 53-102-2004;
- приложению В СП 16.13330;
- приложению В ДБН В.2.6-163:2010,
- приложению А ДБН В.2.6-198:2014,

которая соответствует указанным на предыдущей странице условиям эксплуатации, список рекомендуемых для этой группы сталей по ГОСТ 27772-88 и список марок сталей по другим стандартам и техническим условиям, которые могут быть использованы взамен рекомендуемой стали. Здесь же приведены справочные данные о расчетных сопротивлениях по пределу текучести (R_y) и временному сопротивлению (R_u).

При выборе сталей различают листовой и фасонный прокат и стали для горячекатаных труб, которые выбираются по табл. 51* СНиП II-23-81* или по табл. В6 СП 53-102-2004, СП 16.13330, табл. Е.1 ДБН В.2.6-163:2010, табл. Г.1 ДБН В.2.6-198:2014.

Поскольку для полученных групп конструкций может возникнуть необходимость в использовании стали более высокого качества, чем это следует из рекомендаций нормативных документов, то предоставляется возможность повысить (но не понизить!) группу конструкций, выбрав ее номер из соответствующего выпадающего списка. Естественно, что при этом изменится и список рекомендуемых сталей.

Необходимо заметить, что программа не приводит все детали, которые обязательно отмечаются в заказе металла, такие, например, как в примечаниях к таблицам 50* и 51, *б* СНиП II-23-81*, примечаниям к тексту и таблицам приложения В СП (приложения Е ДБН В.2.6-163:2010 и приложения Г ДБН В.2.6-198:2014). Для составления заказа металла необходимо руководствоваться первичной нормативно-технической документацией.

9.4.2 Сортамент металлопроката

Режим **Сортамент металлопроката** дает возможность просмотра сортаментов, представленных в базе данных программы **КОМЕТА**.

Диалоговое окно этого режима представляет список сортаментов **Каталоги металлопроката**,

представленный в виде древовидной структуры, расположенной слева. При указании курсором на интересующий тип профиля в информационном окне выводится таблица с характеристиками профилей данного вида (рис. 9.4.2-1). При выборе конкретного профиля в том же окне будет показано поперечное сечение профиля с размерами (рис. 9.4.2-2).

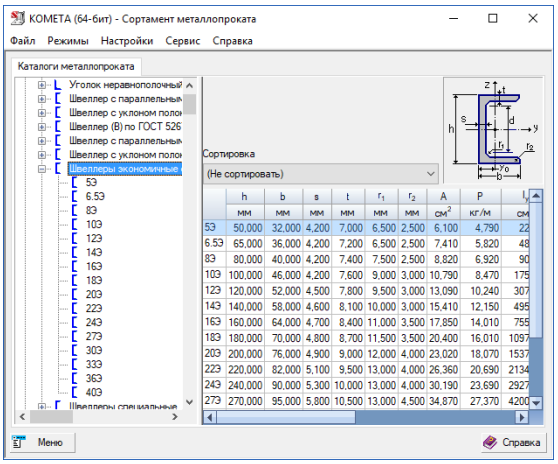


Рис. 9.4.2-1. *Диалоговое окно режима* **Сортамент металлопроката** (выбран тип профиля)

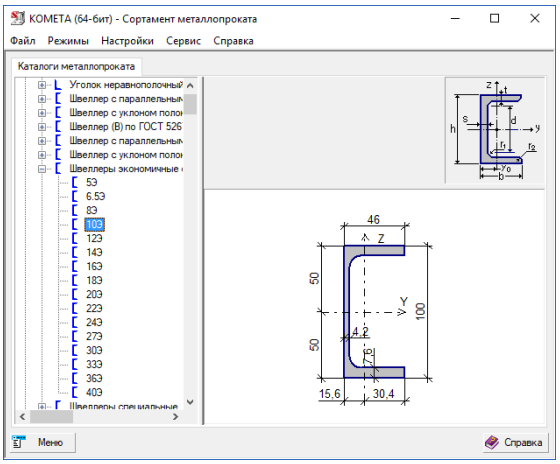


Рис. 9.4.2-2. *Диалоговое окно режима* **Сортамент металлопроката** (выбран конкретный профиль)

9.4.3 Сортамент листовой стали

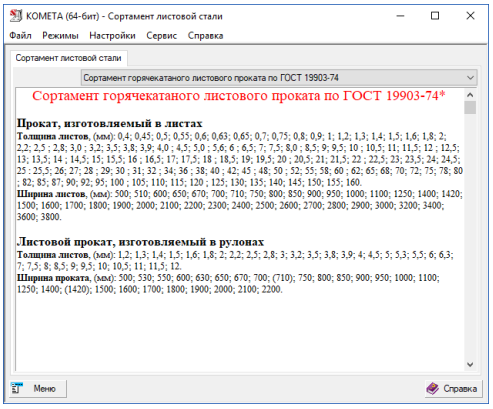


Рис. 9.4.3-1. *Диалоговое окно режима* **Сортамент листовой стали**

Режим **Сортамент листовой стали** (рис. 9.4.3-1) дает возможность просмотра сортаментов горячекатаного листового проката по ГОСТ 19903-74, холоднокатаного листового проката по ГОСТ 19904-90, горячекатаного широкополосного универсального проката по ГОСТ 82-70* и горячекатаных полос по ГОСТ 103-76*.

Для выбора того или иного сортамента листовой стали служит выпадающий список **Сортамент**. При выборе конкретного сортамента в информационном окне режима будет представлен сортаментный ряд толщин и ширин листового проката.

9.4.4 Материалы для сварки

В этом режиме выбираются сварочные материалы для проектируемой конструкции. Выбор реализуется в соответствии с указаниями таблицы 55* СНиП II-23-81* и указаниями п. 6.4, приложения Г СП 53-102-2004 (или указаниями п. 5.4 и приложения Г СП 16.13330). При расчетах по ДБН В.2.6-163:2010 используются указания приложения Ж к этому документу, а по ДБН В.2.6-198:2014 указания приложения Д.

Страница **Условия применения** (рис. 9.4.4-1) содержит две группы данных.

В группе **Свариваемая конструкция** необходимо задать номер группы по табл. 50 СНиП II-23-81*, приложению В СП 53-102-2004, СП 16.13330, приложению Е ДБН В.2.6-163:2010, приложению Г ДБН

В.2.6-198:2014 или по результатам работы режима стали, к которой относится свариваемая конструкция, и указать сталь, из которой эта конструкция запроектирована.

а *б*

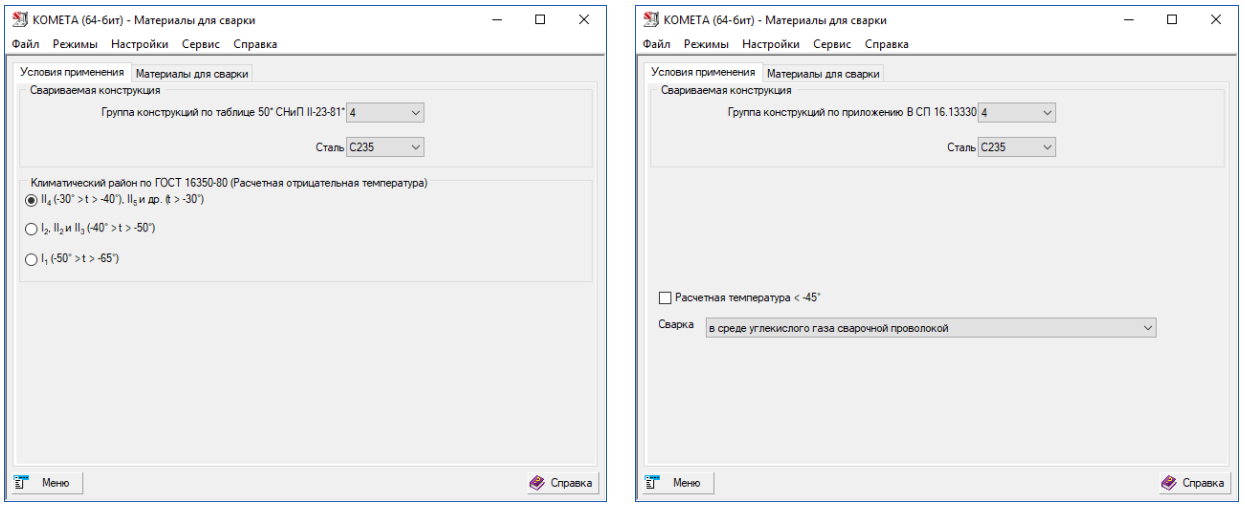


Рис. 9.4.4-1. *Страница* **Условия применения**
режима **Материалы для сварки**: *а* – по СНиП II-23-81*, *б* – по СП 53-102-2004.

Во второй группе указываются **Климатический район по ГОСТ 16350-80** при расчетах по СНиП, либо **Расчетная температура и технология сварки** при расчетах по СП.

После заполнения всех данных первой страницы можно активизировать закладку **Материалы для сварки**, после чего откроется вторая страница рассматриваемого окна.

Эта страница (рис. 9.4.4-2) содержит список рекомендуемых материалов. Если режим **Материалы для сварки** вызван из расчетного режима, то нажатием кнопки **Применить** характеристики выбранных материалов запоминаются для использования при проверке элементов конструкций.

а *б*

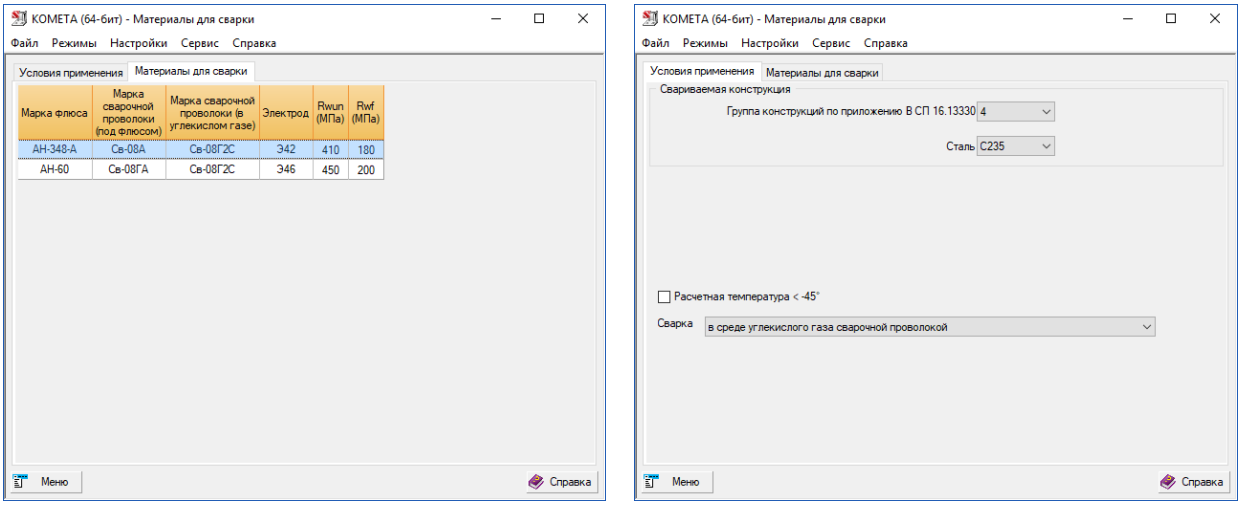


Рис. 9.4.4-2. *Страница* **Материалы для сварки** одноименного *режима*
(*а* – по СНиП II-23-81*, *б* – по СП 53-102-2004 или СП 16.13330)

9.4.5 Коэффициенты условий работы

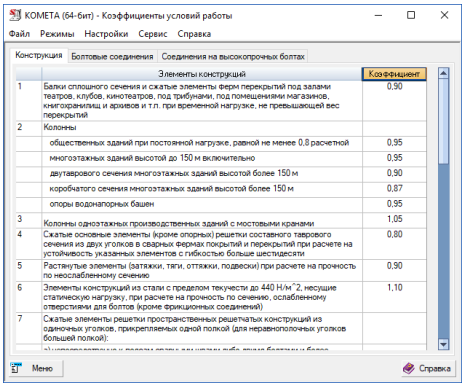


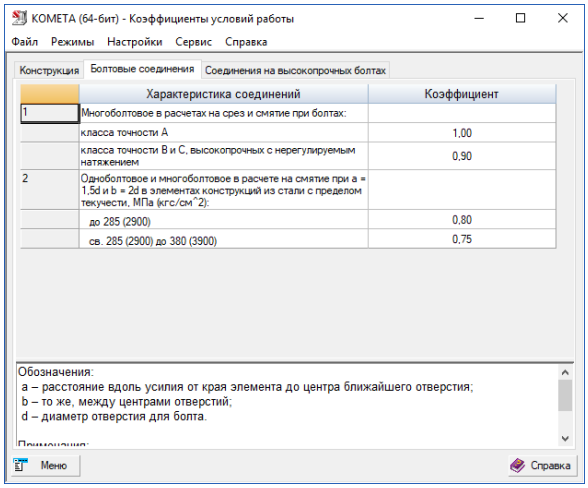
Рис. 9.4.5-1. *Информационное окно режима* **Коэффициенты условий работы**

Информационное окно этого режима (рис. 9.4.5-1) содержит сведения, представленные в таблице 6* СНиП II-23-81* и табл. 1 СП 53-102-2004 (или СП 16.13330), табл. 1.1.1 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 5.1 ДБН В.2.6-198:2014. Кроме одиннадцати позиций, предусмотренных этими таблицами, добавлены еще случаи, реализующие указания примечаний к этим таблицам.

Для болтовых соединений и соединений на высокопрочных болтах предусмотрены отдельные страницы с коэффициентами условий работы болтовых соединений, которые открываются путем выбора соответствующей закладки.

Для соединений на обычных болтах предусмотрена страница режима (рис. 9.4.5-2), реализующая требования табл. 35* СНиП II-23-81*, табл. 38 СП 53-102-2004, табл. 41 СП 16.13330, табл. 1.12.4 ДБН В.2.6-163:2010, табл. 16.4 ДБН В.2.6-198:2014.

а



б

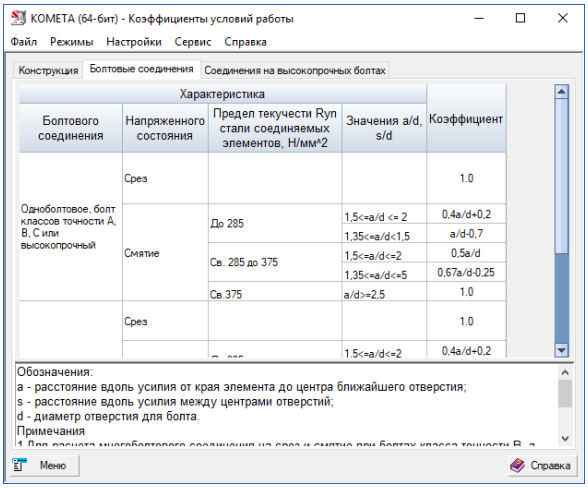


Рис. 9.4.5-2. *Информационное окно режима* **Коэффициенты условий работы** *для болтовых соединений*
а — по СНиП II-23-81*
б — по СП 53-102-2004, СП 16.13330,
ДБН В.2.6-163:2010 или ДБН В.2.6-198:2014.

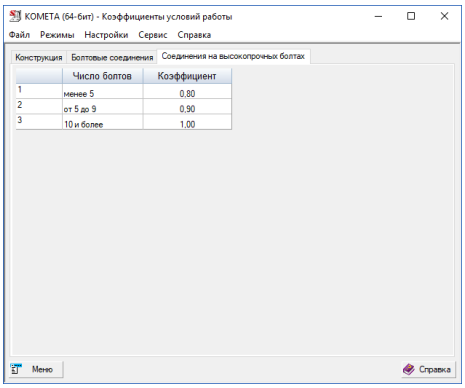


Рис. 9.4.5-3. *Информационное окно режима* **Коэффициенты условий работы** *для соединений на высокопрочных болтах*

Для соединений на высокопрочных болтах предусмотрена страница режима (рис. 9.4.5-3), реализующая требования п. 11.3* СНиП II-23-81*, п. 15.3.4 СП 53-102-2004, п. 14.3.4 СП 16.13330, п. 1.12.3.4 ДБН В.2.6-163:2010, п. 16.3.4 ДБН В.2.6-198:2014.

Если режим **Коэффициенты условий работы** вызван из расчетного режима, то нажатием кнопки **Применить** выбранное значение коэффициента запоминается для использования при проверке элементов конструкций.

9.4.6 Болты

Режим **Болты** обеспечивает возможность просмотра сортаментов болтов с указанием их класса для выбранных условий эксплуатации конструкции и предполагаемого характера работы болтового соединения. Выбор болтов реализуется для четырех групп конструкций в соответствии с таблицей 57* СНиП II-23-81* и приложением Г СП 53-102-2004 или СП 16.13330, приложением В ДБН В.2.6-163:2010 и приложением А ДБН В.2.6-198:2014.

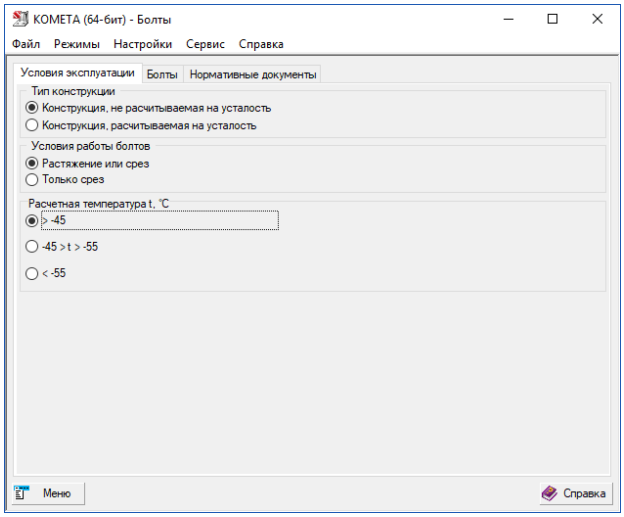


Рис. 9.4.6-1. *Страница* **Условия эксплуатации** *режима* **Болты**

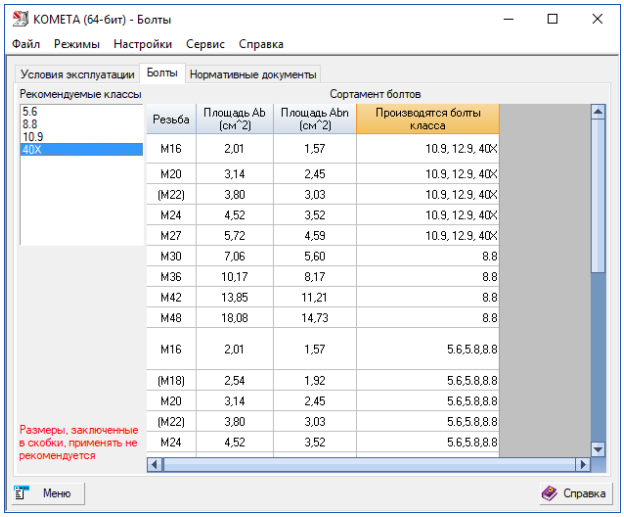


Рис. 9.4.6-2. *Страница* **Болты** *режима* **Болты**

Страница **Условия эксплуатации** (рис. 9.4.6-1) содержит три группы данных:

- **Тип конструкции**, где выбирается один из двух нормируемых случаев по требованиям, предъявляемым к выносливости болтового соединения;
- **Условия работы болтов** — для выбора варианта работы болта в соединении;
- **Климатический район по ГОСТ 16350-80 (Расчетная температура)**, где указывается один из предусмотренных нормами температурных режимов эксплуатации (при применении ДБН не используется).

После заполнения всех данных первой страницы необходимо перейти на вторую страницу рассматриваемого диалогового окна – страницу **Болты**.

Страница **Болты** (рис. 9.4.6-2) содержит список рекомендуемых классов болтов и сведения о сортаменте болтов в зависимости от заданных условий эксплуатации конструкции и предполагаемого характера работы болтового соединения.

Страница **Нормативные документы** предоставляет пользователю информацию о перечне нормативных документов, используемых при проектировании болтовых соединений.

9.4.7 Высокопрочные болты

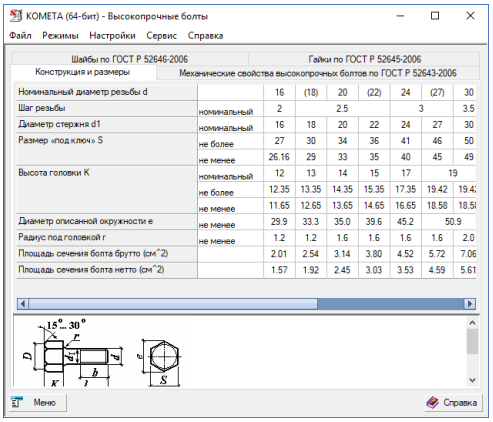


Рис. 9.4.7-1. *Режим* **Высокопрочные болты**

Режим **Высокопрочные болты** (рис. 9.4.7-1) содержит сведения о конструкции, размерах и механических свойствах высокопрочных болтов (страницы **Конструкции и размеры** и **Механические свойства высокопрочных болтов по ГОСТ 22356-77***, соответственно), которые могут использоваться в соединениях элементов металлических конструкций. Кроме того, на страницах **Гайки по ГОСТ 22354-77*** и **Шайбы по ГОСТ 22355-77*** приводится перечень, соответственно, гаек и шайб для таких болтов с указанием их размеров и геометрических характеристик.

Данная информация представлена в табличной форме и сопровождается всеми необходимыми графическими материалами (рис. 9.4.7-1).

9.4.8 Фундаментные болты

Режим **Фундаментные болты** предназначен для просмотра справочной информации о типах фундаментных болтов с указанием расчетного сопротивления растяжению.

Диалоговое окно этого режима содержит четыре страницы: **Фундаментные болты**, **Основные размеры**, **Марки стали** и **Расчетные сопротивления растяжению**.

На странице **Фундаментные болты** (рис. 9.4.8-1) предоставлена графическая информация о типах фундаментных болтов. Страница **Основные размеры** (рис. 9.4.8-2) содержит в табличной форме информацию о геометрических размерах и расчетной площади сечений в зависимости от типа и диаметра фундаментных болтов. Страница **Марки стали** (рис. 9.4.8-3) предоставляет информацию об используемых марках стали для фундаментных болтов в зависимости от климатического района строительства. На странице **Расчетные сопротивления растяжению** (рис. 9.4.8-4) приведены расчетные сопротивления растяжению в зависимости от диаметра и марки стали фундаментных болтов.

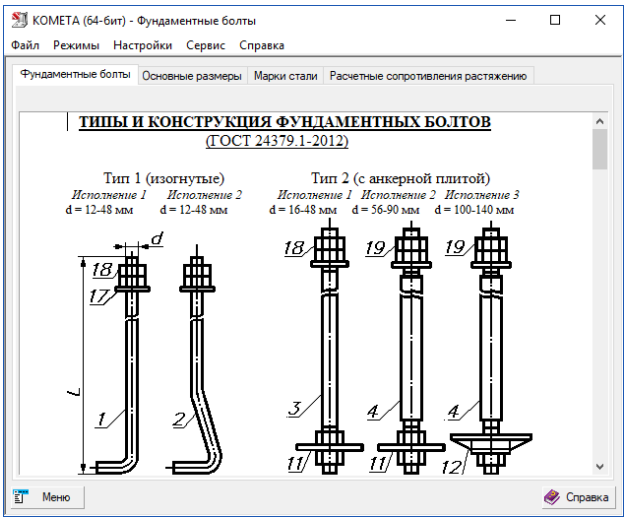


Рис. 9.4.8-1. *Страница* **Фундаментные болты** одноименного *режима*

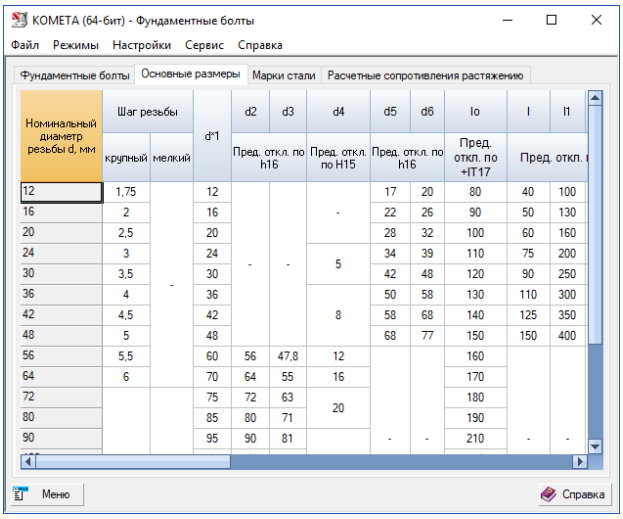


Рис. 9.4.8-2. *Страница* **Основные размеры** *режима* **Фундаментные болты**

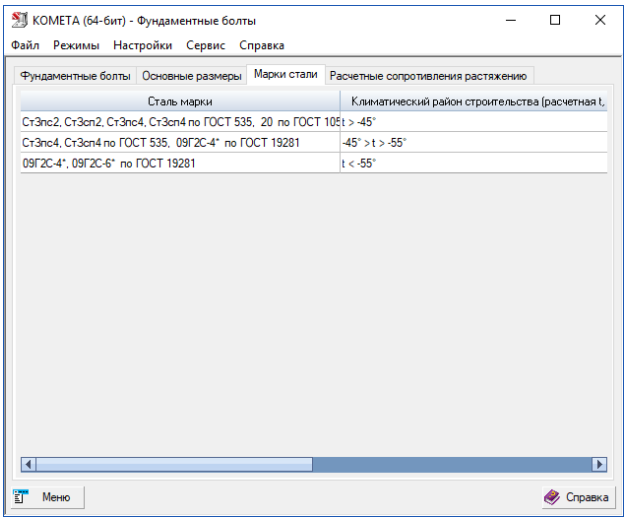


Рис. 9.4.8-3. *Страница* **Марки стали** *режима* **Фундаментные болты**

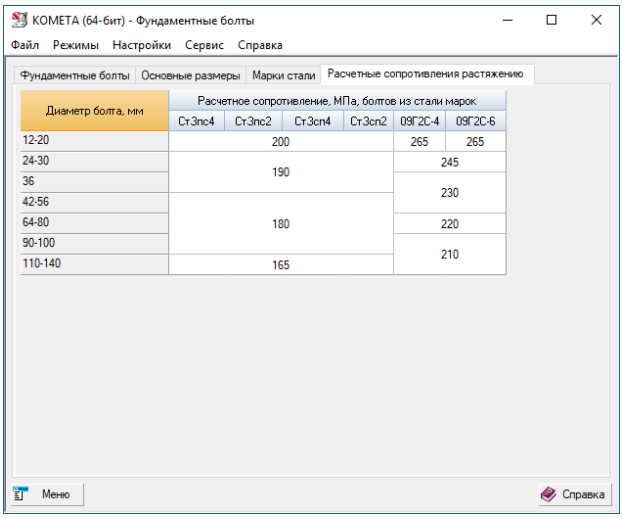


Рис. 9.4.8-4. *Страница* **Расчетные сопротивления растяжению** *режима* **Фундаментные болты**

9.4.9 Нормали для стыковки элементов

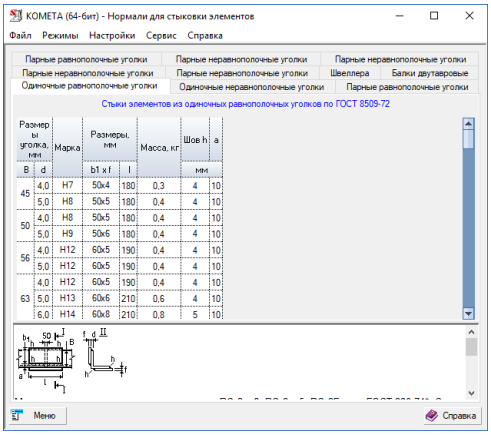


Рис. 9.4.9-1. *Режим* **Нормали для стыковки элементов**

В режиме **Нормали для стыковки элементов** (рис. 9.4.9-1) приводятся характеристики равнопрочных стыков прокатных элементов, соединяемых с помощью сварки на накладках [1].

Диалоговое окно данного режима содержит десять страниц с полным описанием конструктивных решений стыков элементов из балок двутавровых по ГОСТ 8239-72, швеллеров по ГОСТ 8240-72, одиночных и парных равнополочных уголков по ГОСТ 8509-72, одиночных и парных неравнополочных уголков по ГОСТ 8510-72.

9.4.10 Риски

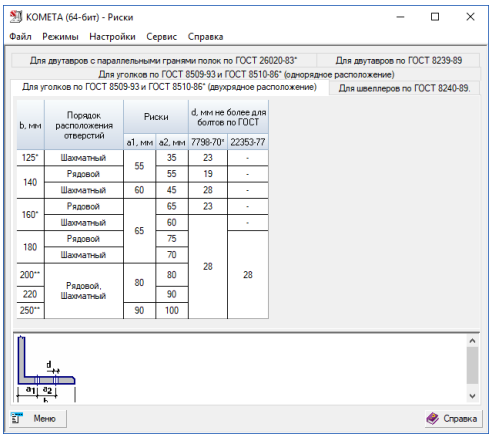


Рис. 9.4.10-1. *Режим* **Риски**

Режим **Риски** (рис. 9.4.10-1) предназначен для получения справки о рекомендуемом расположении болтовых отверстий в пределах прокатного профиля [5]. Данная информация представлена в табличной форме и приводится для уголков по ГОСТ 8509-93 и ГОСТ 8510-86* (при одно- и двухрядном расположении болтовых отверстий), для швеллеров по ГОСТ 8240-89, для двутавров по ГОСТ 8239-89 и для двутавров с параллельными гранями полок по ГОСТ 26020-83*. В информационном поле в нижней части диалогового окна приводится графическое отображение профиля с указанием принятых в таблице обозначений размеров.

9.4.11 Класс бетона

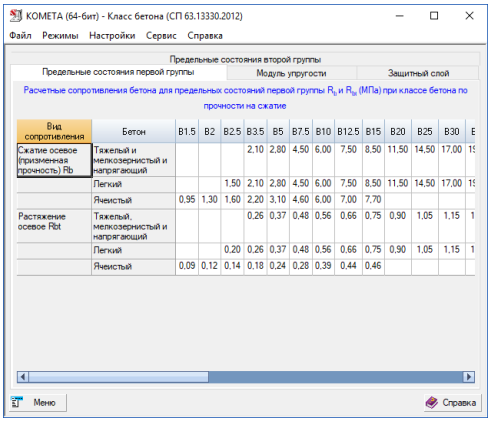


Рис. 9.4.11-1.*Режим* **Класс бетона (СНиП 2.03.01-84*)**

Режим **Класс бетона (СНиП 2.03.01-84*)** (рис. 9.4.11-1) предназначен для получения информации о нормативном сопротивлении бетона, а также расчетном сопротивлении бетона для предельных состояний первой группы (страница **Предельные состояния первой группы**) и второй группы (страница **Предельные состояния второй группы**) в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие в соответствии со СНиП 2.03.01-84*, а также информацию о минимально допустимом защитном слое бетона.

9.4.12 Марка бетона

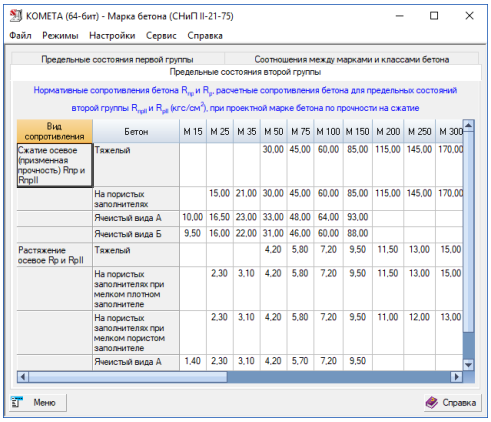


Рис. 9.4.12-1. *Режим* **Марка бетона (СНиП II-21-75)**

Режим **Марка бетона (СНиП II-21-75)** (рис. 9.4.12-1) предназначен для получения информации о нормативных и расчетных сопротивлениях бетона для предельных состояний первой группы (страница **Предельные состояния первой группы**) и второй группы (страница **Предельные состояния второй группы**) в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие в соответствии со СНиП II-21-75.

На странице **Соотношения между марками и классами бетона** содержится информация о соотношениях между марками и классами бетона по прочности на сжатие в соответствии с ГОСТ 26633-91.

9.5 Расчетные режимы

9.5.1 Жесткие базы колонн

Режим **Жесткие базы колонн** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений узлов баз колонн, с помощью которых реализовано жесткое закрепление колонны в фундаменте. Этот режим охватывает широкий спектр конструктивных решений узлов данного типа, а именно:

- базы без траверс и консольных ребер (рис. 9.5.1-1);
- базы с траверсами и консольными ребрами (рис. 9.5.1-2);
- базы с выносными траверсами (рис. 9.5.1-3).

Конструктивные решения первых четырех типов баз колонн предусматривают отсутствие каких-либо дополнительных деталей, подкрепляющих опорную плиту, такие базы проектируют, как правило, для бескрановых зданий или для зданий с кранами малой грузоподъемности. Базы колонн с траверсами, в которых анкерные болты работают в составе опорной плиты, предусматривают наличие дополнительных конструктивных элементов (траверс и консольных ребер), обеспечивающих более равномерное распределение напряжений в бетоне фундамента под опорной плитой.

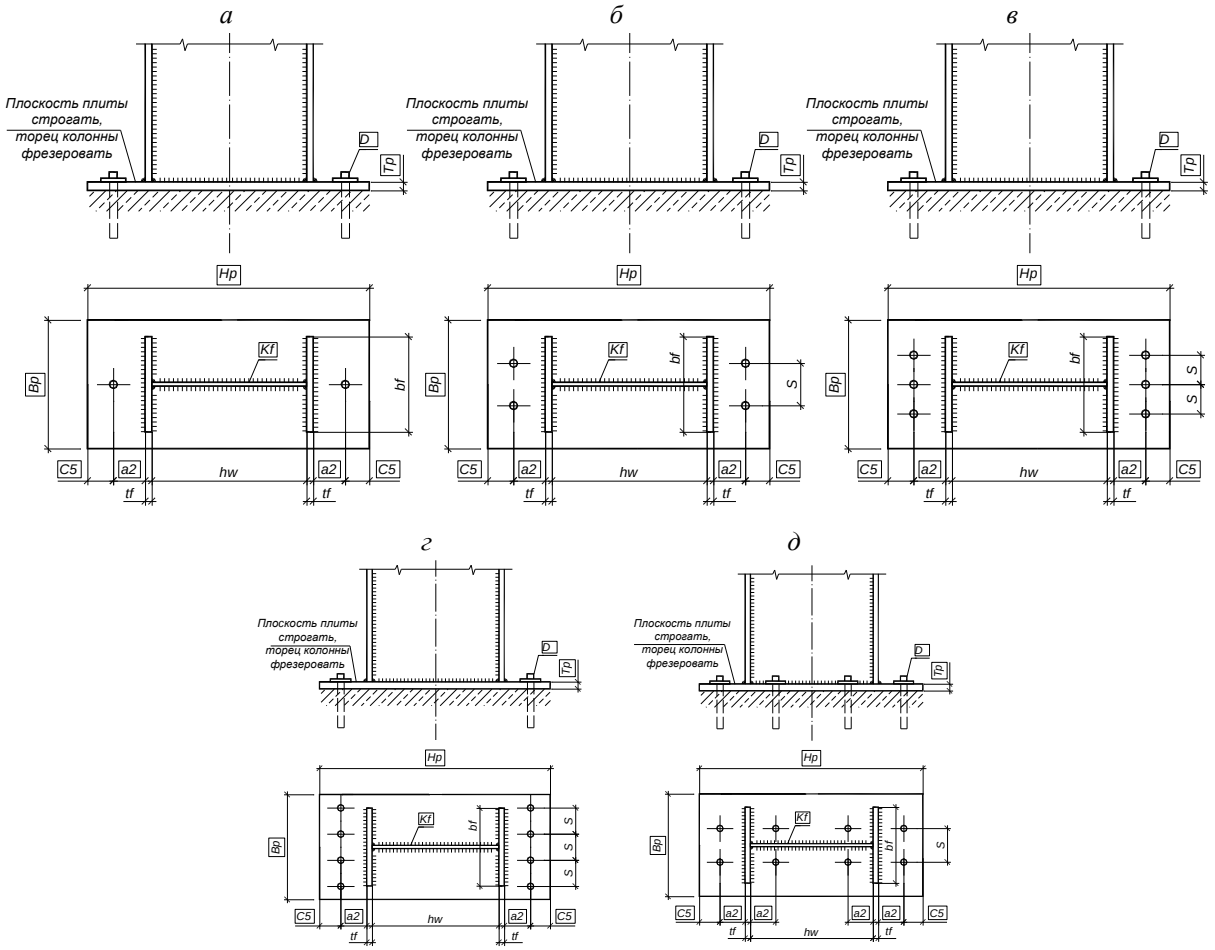


Рис. 9.5.1-1. Типы конструктивных решений узлов жестких баз колонн без траверс и консольных ребер

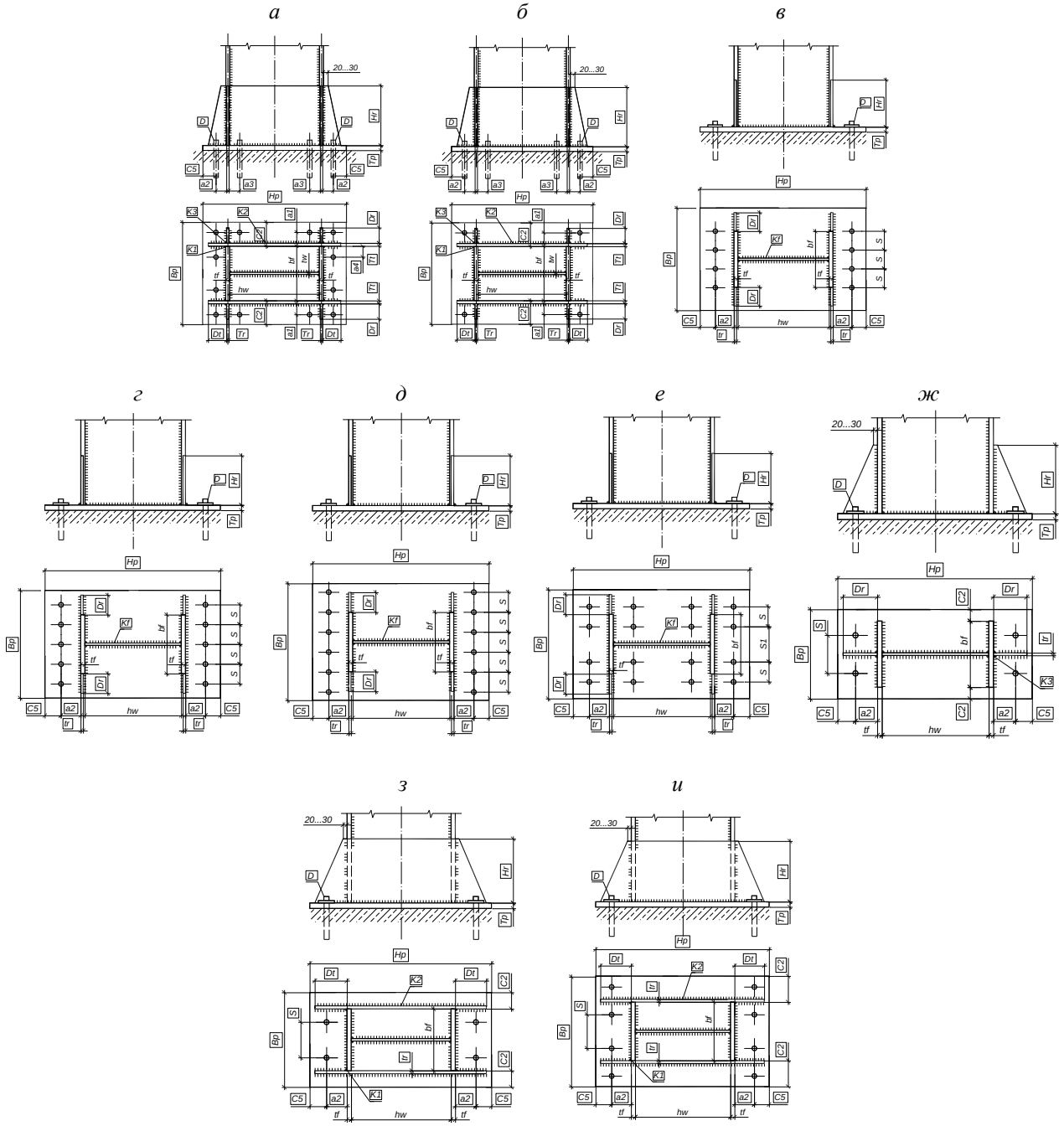


Рис. 9.5.1-2. Типы конструктивных решений узлов жестких баз колонн с траверсами и консольными ребрами

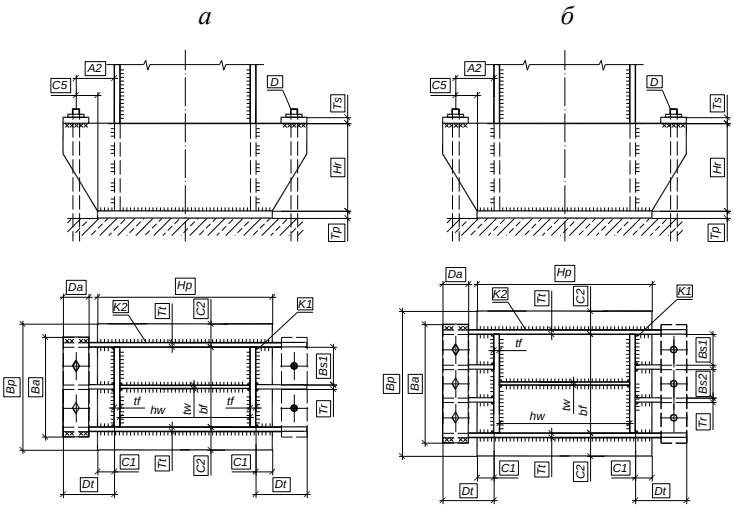


Рис. 9.5.1-3. Типы конструктивных решений узлов жестких баз колонн с выносными траверсами

При работе этого режима в соответствии с выбранным нормативным документом выполняются проверки:

- прочности конструктивных элементов, входящих в состав узла базы колонны (опорной плиты, фундаментных болтов, анкерных пластинок, траверс и консольных ребер, бетона фундамента на местное смятие);
- прочности сварных соединений узлов (крепления колонны к опорной плите, крепления траверсы к стержню колонны и к опорной плите, крепления консольного ребра к стержню колонны и к траверсе);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

Главное окно режима **Жесткие базы колонн** включает следующие страницы страниц: **Конфигурация** (рис. 9.5.1-4, 9.5.1-5), **Усилия** (рис. 9.5.1-9), **Конструкция** (рис. 9.5.1-10), **Сварка**, **Чертеж** (рис. 9.5.1-11) и **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.1-12).

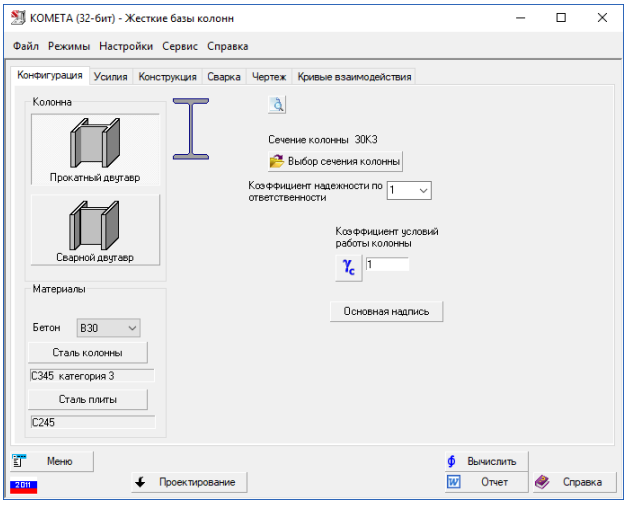


Рис. 9.5.1-4. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Жесткие базы колонн** (для типа поперечного сечения колонны выбран прокатный двутавр)

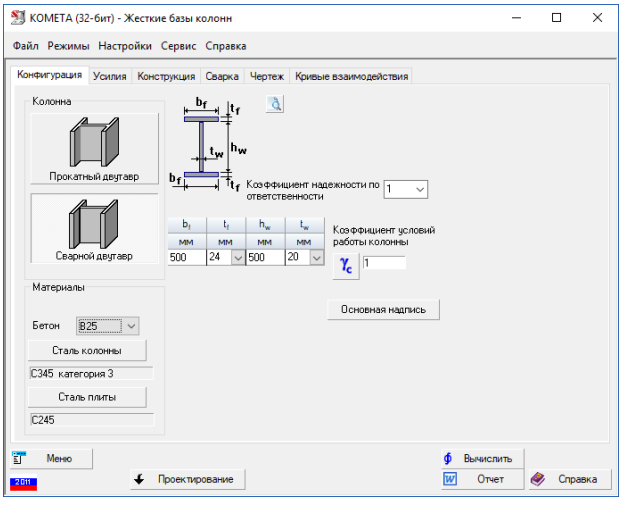


Рис. 9.5.1-5. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Жесткие базы колонн** (для типа поперечного сечения колонны выбран сварной двутавр)

На странице **Конфигурация** пользователем определяются исходные данные для расчета (задается сечение колонны, класс стали для колонны, класс бетона фундамента, коэффициент условий работы колонны и коэффициент надежности по ответственности). Выбор типа сечения колонны реализуется нажатием соответствующей кнопки: **Прокатный двутавр** или **Сварной двутавр**. В соответствии со сделанным выбором изменяется интерфейс этой страницы (рис. 9.5.1-4, рис. 9.5.1-5).

Для прокатного двутавра, выбранного в качестве типа поперечного сечения колонны, необходимо определить сортамент и номер профиля в данном сортаменте. Это осуществляется в диалоговом окне **Выбор профиля** (рис. 9.5.1-6), которое становится доступным после нажатия кнопки **Выбор сечения колонны**.

Если в качестве типа сечения колонны выбран сварной двутавр, необходимо определить размеры поперечного сечения колонны: высоту h_w и толщину t_w стенки, ширину b_f и толщину t_f полки. Размеры поперечного сечения колонны вводятся в таблицу в миллиметрах (рис. 9.5.1-5). Заметим, что толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающего списка, в котором содержится набор толщин, соответствующий сортаменту листовой стали. Обеспечена возможность графического контроля поперечного сечения колонны в информационном окне (рис. 9.5.1-7), которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

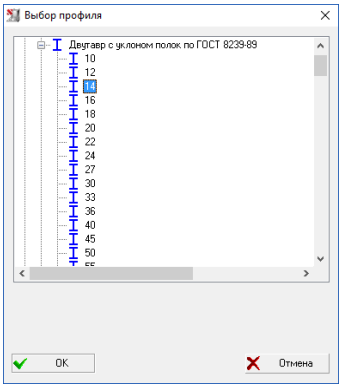


Рис. 9.5.1-6. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

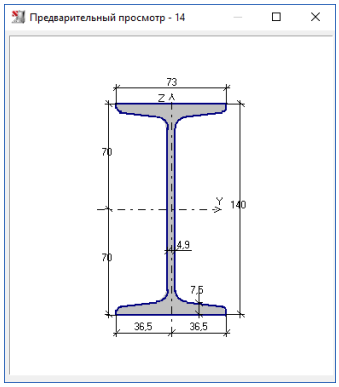


Рис. 9.5.1-7. *Информационное окно* **Предварительный просмотр**

Материалы, использующиеся для расчета и проектирования узла жесткой базы колонны, определяются нажатием одноименных кнопок **Сталь колонны** (служит для назначения стали самой колонны) и **Сталь плиты** (служит для назначения стали опорной плиты базы, траверс и консольных ребер). В выпадающем списке **Бетон** предлагаются для выбора классы бетона для фундамента (см. рис. 9.5.1-4, 9.5.1-5).

Коэффициент условий работы колонны можно ввести в соответствующем окне ввода или же выбрать в диалоговом окне **Коэффициенты условий работы** (см. п. 9.4.5), нажав на расположенную рядом кнопку ( ).

Коэффициент условий работы опорной плиты базы колонны вычисляется в данном режиме автоматически. Пользователю необходимо задать коэффициент условий работы колонны, а не опорной плиты.

На этой же странице в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо задать соответствующий коэффициент, на который в последующем будут умножены все расчетные значения внутренних усилий для всех расчетных комбинаций нагружений, действующих в опорном сечении колонны. В том случае, когда значения внутренних усилий в опорном сечении колонны получены по результатам анализа системы уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (т.е., например, когда расчетные значения прикладываемых нагрузок были получены с учетом данного коэффициента), в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо выбрать значение равное единице.

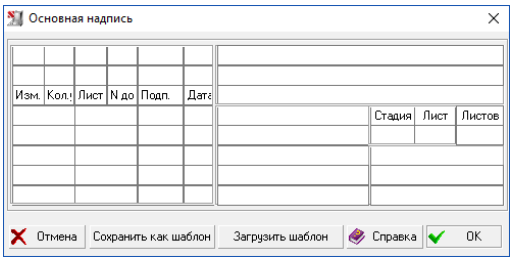


Рис. 9.5.1-8. *Диалоговое окно* **Основная надпись**

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к одноименному диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа (рис. 9.5.1-8), используемого в эскизе проектного решения узла базы колонны жесткого типа. Кнопка **Сохранить как шаблон** позволяет запомнить внесенную информацию как шаблон штампа в данном сеансе работы с программой. Использовать сохраненный шаблон можно как в текущем, так и в других режимах работы программы, нажав на кнопку **Загрузить шаблон**.

На странице **Сварка** задаются параметры сварных соединений для узла. В группе **Параметры соединения** в специальных выпадающих списках необходимо назначить тип и вид сварки, а также определить положение шва. Реализованы виды сварки, соответствующие табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014), а именно: ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при диаметре сварочной проволоки менее 1.4 мм, автоматическая и полуавтоматическая при диаметре сварочной проволоки 1.4…2.0 мм, автоматическая при диаметре сварочной проволоки 3…5 мм и полуавтоматическая порошковой проволокой. При этом положение сварных швов может быть в лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное. В группе **Свойства материалов для сварки** отображаются значения расчетного сопротивления угловых швов на условный срез по металлу шва R_{wf} и нормативного сопротивления металла шва R_{wun}. Определить эти значения можно в диалоговом окне **Материалы для сварки**, которое становится доступным после нажатия кнопки . Принципы работы в режиме **Материалы для сварки** описаны в п. 9.4.4.

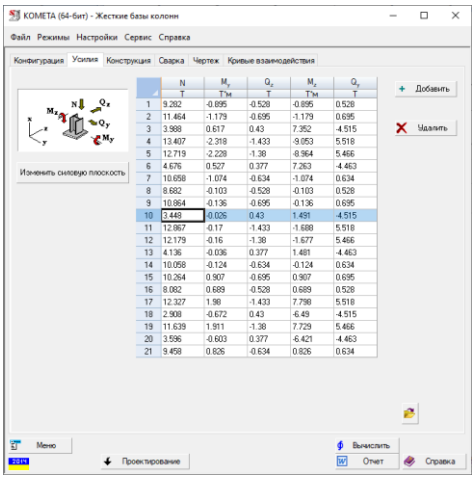


Рис. 9.5.1-9. *Страница* **Усилия** *режима* **Жесткие базы колонн**

На странице **Усилия** (рис. 9.5.1-9) задаются внутренние усилия, действующие в узле базы колонны: N - продольное усилие; M_y и M_z - изгибающие моменты в двух плоскостях; Q_z и Q_y - соответствующие им поперечные силы[6]. Таким образом, реализован общий случай нагружения колонны: двухосный изгиб со сжатием или растяжением. На рисунке, расположенном рядом с таблицей внутренних усилий, определены положительные направления внутренних усилий в сечениях элементов базы колонны. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. Единицы измерения внутренних усилий, действующих в узле, определяются на странице **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки приложения** (см. п. 2.2).

[6] Для ориентации заданных внутренних усилий относительно главных осей инерции поперечных сечений, сходящихся в узле, каждый стержень узла связывают с локальной (местной) системой координат xyz. В программе реализована следующая ориентация локальных систем координат стержней: ось $x-x$ направлена от начала стержня (начального узла) до конца (конечного узла), оси $y-y$ и $z-z$ (главные центральные оси инерции поперечного сечения стержня) вместе с осью $x-x$ образуют правостороннюю систему координат Декарта. При этом ось $y-y$ параллельна плоскости $X0Y$ глобальной системы координат, а ось $z-z$ направлена в верхнее полупространство.

По умолчанию единицы измерения продольных и поперечных усилий - тонны, изгибающих моментов - тонны×метры.

Предусмотрена возможность смены силовой плоскости (кнопка **Изменить силовую плоскость**, нажатие которой приводит к смене M_y на M_z и Q_y на Q_z).

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

Страница **Конструкция** содержит группу кнопок для выбора конструктивного решения узла базы колонны жесткого типа (рис. 9.5.1-10).

Для проверки несущей способности известного конструктивного решения базы колонны в соответствии с требованиями норм необходимо задать все расчетные параметры узла. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры фундаментных болтов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице справа. Диаметр, марка стали фундаментных болтов, а также их количество (для некоторых типов баз) задаются в специальных выпадающих списках, объединенных в группу **Болты фундаментные**. По умолчанию единицами измерения линейных размеров приняты миллиметры.

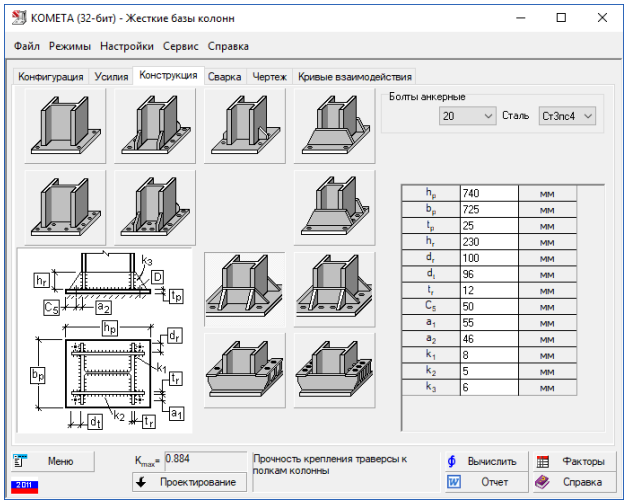


Рис. 9.5.1-10. *Страница* **Конструкция** *режима* **Жесткие базы колонн**

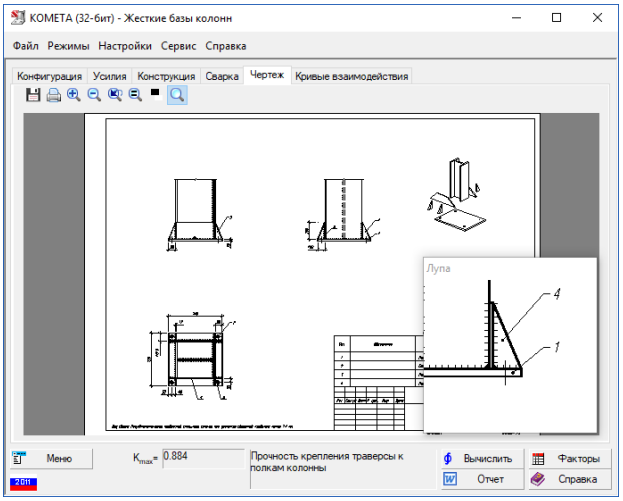
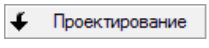
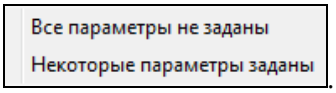


Рис. 9.5.1-11. *Страница* **Чертеж** *режима* **Жесткие базы колонн**

При нажатии кнопки 

появляется выпадающее меню 

.

Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор проектного решения базы колонны совершался на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных

нормами (подробнее см. п. 8.2). При этом в качестве управляемых параметров узлов жестких баз колонн принимались диаметр анкерных болтов и толщина опорной плиты, а также габариты опорной плиты базы.

При нажатии кнопки

программа выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к узлу (колонны), конструктивных элементов узла (опорной плиты, траверс, анкерных плит и т.д.) и их соединений (сварных соединений и соединений на анкерных болтах) при заданных (или ранее подобранных) значениях всех параметров узла в соответствии с требованиями норм.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла жесткой базы колонны стадии КМ.

Полный перечень выполненных проверок доступен по нажатию кнопки **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов**, где можно ознакомиться со значениями всех коэффициентов использования ограничений, представленных тут в числовой и графической формах. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов жестких баз колонн представлен в табл. 9.5.1-1.

С помощью кнопки **Отчет** предусмотрена возможность формирования отчетного документа, который содержит исходные данные и результаты расчета, его создание описано в разделе 2.5.

Табл. 9.5.1-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов жестких баз колонн

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых по контуру	рис. 9.5.1-2, *а, б, з, и;* рис. 8.5.1-3	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (103)	п.1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на три стороны	рис. 9.5.1-2; 8.5.1-3	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (104)	п.1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на две стороны, которые сходятся под углом	рис. 9.5.1-2, *а, б, ж*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (104)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на консольных участках плиты	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (102)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.1)	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12
Прочность опорной плиты по	рис. 9.5.1-1; 9.5.1-2;	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101)	п. 1.7.2, (1.7.1)	п.11.2, (11.1)	п. 7.12

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
нормальным напряжениям на свободных трапециевидных участках плиты	9.5.1-3						
Прочность бетона фундамента на местное смятие под плитой	рис. 9.5.1-2; 9.5.1-3						
Прочность крепления колонны к опорной плите	рис. 9.5.1-1	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)
Прочность крепления траверсы к полкам колонны	рис. 9.5.1-2, *а, б, з, и*; рис. 9.5.1-3	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)
Прочность крепления траверсы к опорной плите	рис. 9.5.1-2, *а, б, з, и*; рис. 9.5.1-3	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)
Прочность крепления консольного ребра к полкам колонны	рис. 9.5.1-2, *в, г, д, е*; рис. 9.5.1-3	п. 11.4, (33)	п. 15.1.15, (38)	п. 14.1.15, (44)	п. 1.12.1.15, (1.5.4)	п. 16.1.15, (9.4)	п. 13.4
Прочность крепления консольного ребра к траверсе	рис. 9.5.1-2, *а, б, ж*	п. 11.5, (120)-(123), (126)	п. 15.1.16, (155), (156), п.15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.5, (129)-(132), (135)
Прочность фундаментных болтов	рис. 9.5.1-1; 9.5.1-2; 9.5.1-3	п. 11.7*, (129), п. 11.8, (130)	п. 15.2.9, (167), п. 15.2.10, (168)	п. 14.2.9, (186)–(188), п. 14.2.10, (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.12) – (1.12.14), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.12) – (16.14), п. 16.2.10, (16.15)	п. 13.7*, (138), п. 13.8, (139)
Прочность траверсы по касательным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (29)	п. 9.2.1, (36)	п. 8.2.1, (42)	п. 1.5.2.1, (1.5.2)	п. 9.2.1, (9.2)	п. 7.12, (25)
Прочность траверсы по приведенным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4)	п. 9.2.1, (9.4)	п. 7.12, (29)
Прочность траверсы по нормальным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п. 1.5.2.1, (1.5.1)	п. 9.2.1, (9.1)	п. 7.12, (24)

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность консольного ребра по касательным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (29)	п. 9.2.1, (36)	п. 8.2.1, (42)	п. 1.5.2.1, (1.5.2)	п. 9.2.1, (9.2)	п. 7.12, (25)
Прочность консольного ребра по приведенным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4)	п. 9.2.1, (9.4)	п. 7.12, (29)
Прочность консольного ребра по нормальным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п. 1.5.2.1, (1.5.1)	п. 9.2.1, (9.1)	п. 7.12, (24)
Прочность анкерной пластинки по касательным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (29)	п. 9.2.1, (36)	п. 8.2.1, (42)	п. 1.5.2.1, (1.5.2)	п. 9.2.1, (9.2)	п. 7.12, (25)
Прочность анкерной пластинки по приведенным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4)	п. 9.2.1, (9.4)	п. 7.12, (29)
Прочность анкерной пластинки по нормальным напряжениям	рис. 9.5.1-3	п. 5.12, (28)	п.9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п.1.5.2.1, (1.5.1)	п. 9.2.1, (9.1)	п. 7.12, (24)

Примечания:

1. **Расчетное сопротивление металла границы сплавления сварных угловых соединений R_{wz} определено по формуле табл. 3 СНиП II-23-81* или табл. 4 СП 53-102-2004 (СП 16.13330) или табл.1.3.3 ДБН В.2.6-163:2010 или по табл. 7.3 ДБН В.2.6-198:2014 или по табл. Е.9 приложения Е ШНК 2.03.05-13.**
2. **Расчетное сопротивление стыковых сварных швов R_{wy} определено по формуле табл. 3 СНиП II-23-81* или табл. 4 СП 53-102-2004 (СП 16.13330) или табл.1.3.3 ДБН В.2.6-163:2010 или по табл. 7.3 ДБН В.2.6-198:2014 или табл. Е.9 приложения Е ШНК 2.03.05-13 при отсутствии физических методов контроля качества.**
3. **При расчете опорной плиты учтен коэффициент условий работы γ_c в соответствии с поз. 11 табл. 6* СНиП II-23-81* или поз. 3.9 табл. 1 СП 53-102-2004 (или поз. 9 табл. 1 СП 16.13330) или поз. 9 табл.1.1.1 ДБН В.2.6-163:2010 или поз. 9 табл. 5.1 ДБН В.2.6-198:2014 или поз. 13 табл. F.1 приложения F ШНК 2.03.05-13.**
4. **При расчете болтовых соединений учтен коэффициент условий работы γ_b, значение которого принято в соответствии с поз. 1 табл. 35* СНиП II-23-81* и примечанием к табл. 38 СП 53-102-2004 (или примечание к табл. 41 СП 16.13330) или табл.1.12.4 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.4 ДБН В.2.6-198:2014 или табл. F.2 приложения F ШНК 2.03.05-13 как для многоболтового соединения на болтах класса точности В и С, а также на высокопрочных болтах с нерегулируемым натяжением.**
5. **Катеты угловых сварных швов принимались по расчету, но не менее конструктивно минимальных катетов, указанных в табл. 38* СНиП II-23-81* и табл. 35 СП 53-102-2004 (или табл.38 СП 16.13330) или табл.1.12.1 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.1 ДБН В.2.6-198:2014 и не более максимальных, оговоренных в п. 12.8, а) СНиП II-23-81* и п. 15.1.7, а) СП 53-102-2004 (или п.14.1.7, а) СП 16.13330) или п.1.12.1.5, б) ДБН В.2.6-163:2010 или п. 16.1.5, б) ДБН В.2.6-198:2014 или в табл. 29 ШНК 2.03.05-13.**

Расчетная длина фланговых угловых сварных швов принималась не более максимального значения, определенного в п. 12.8, г) СНиП II-23-81* и п. 15.1.7, г) СП 53-102-2004 (или п.14.1.7, г) СП 16.13330) или п.1.12.1.5, д) ДБН В.2.6-163:2010 или п. 16.1.5, д) ДБН В.2.6-198:2014.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 9.5.1-11) выполняется проверка и проектирование узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

В верхней части страницы **Чертеж** расположена панель инструментов с кнопками управления ( ), которые обеспечивают возможность масштабирования графического изображения, его сохранение в формате DWG (DXF) системы AutoCAD и печать.

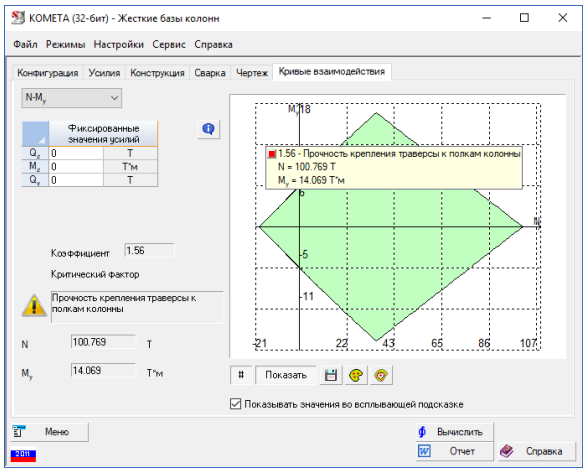


Рис. 9.5.1-12. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Жесткие базы колонн**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.1-12) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла жесткой базы колонны при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в опорном сечении колонны.

Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла жесткой базы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях.

Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора внутренних усилий, который соответствует текущему положению курсора на области кривой взаимодействия.

Одновременно в поле **Коэффициент** выводится максимальное значение коэффициента использования ограничений K_{max}, соответствующее текущим значениям внутренних усилий, а в поле **Критический фактор** выдается название типа проверки, для которой он вычислен. Если курсор мыши располагается за границами области несущей способности, где $K_{max} > 1$, то рядом с названием типа проверки появляется предупреждающий знак .

9.5.2 Шарнирные базы колонн

Режим **Шарнирные базы колонн** предназначен для проектирования и экспертизы конструктивных решений узлов баз колонн, с помощью которых реализовано шарнирное закрепление колонны в фундаменте. Этот режим охватывает широкий спектр конструктивных решений узлов данного типа, а именно:

- базы с траверсами и консольными ребрами (рис. 9.5.2-1);
- базы без траверс и консольных ребер (рис. 9.5.2-2).

Конструктивные решения шарнирных баз колонн, предусмотренные в программе, несколько отличаются от конструктивных решений жестких баз колонн. Анкерные болты в этих базах размещены принимая во внимание условие обеспечения некоторой податливости узла по отношению к угловым деформациям, что позволяет достаточно условно относить такое сопряжение базы с фундаментом к шарнирному.

При работе этого режима в соответствии с нормами выполняются проверки:

- прочности конструктивных элементов, входящих в состав узла базы колонны (опорной плиты, траверс и консольных ребер, бетона фундамента на местное смятие);
- прочности сварных соединений узлов (крепления колонны к опорной плите, крепления траверсы к стержню колонны и к опорной плите, крепления консольного ребра к стержню колонны и к траверсе);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

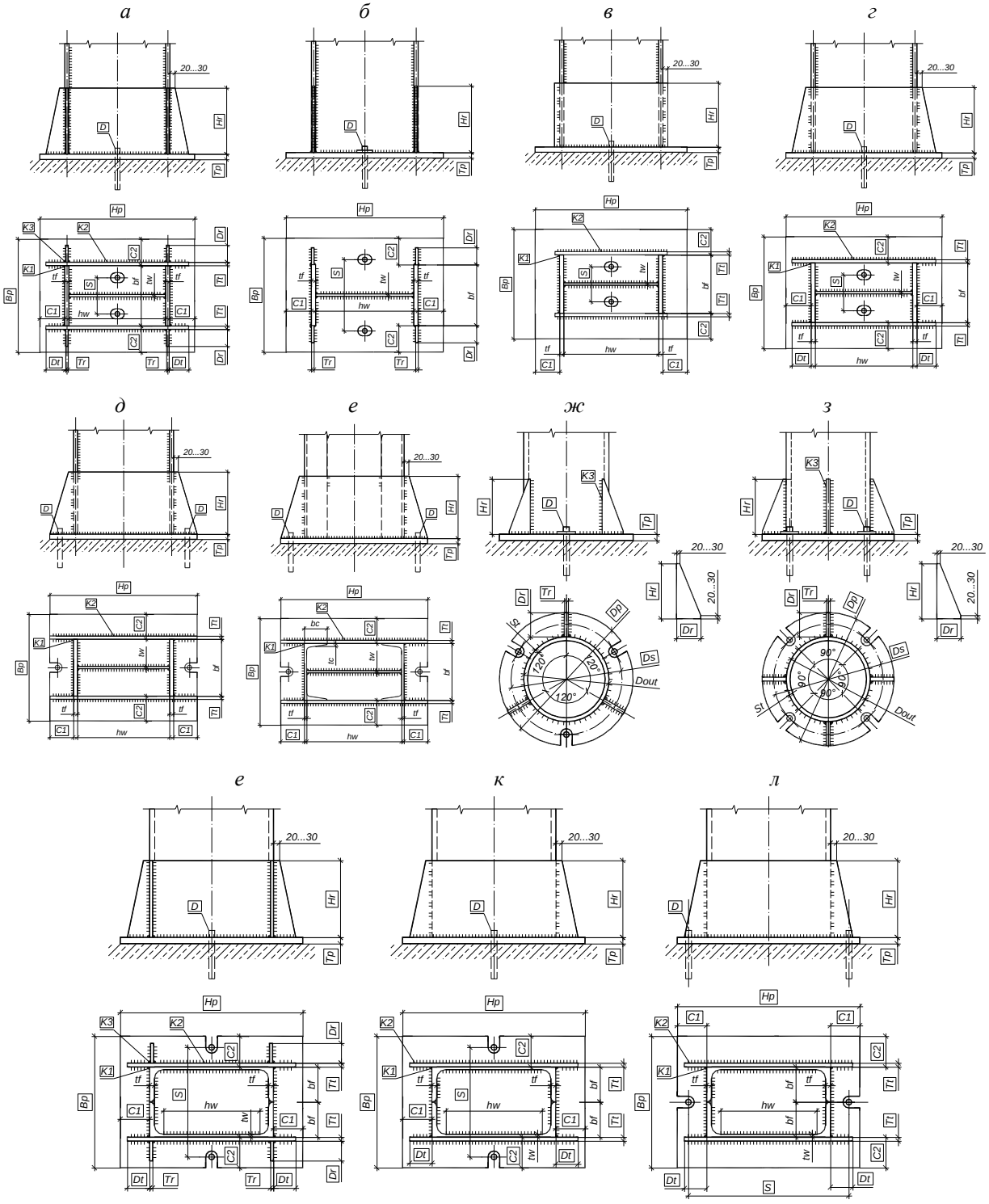


Рис. 9.5.2-1. Типы конструктивных решений шарнирных баз колонн с траверсами и консольными ребрами

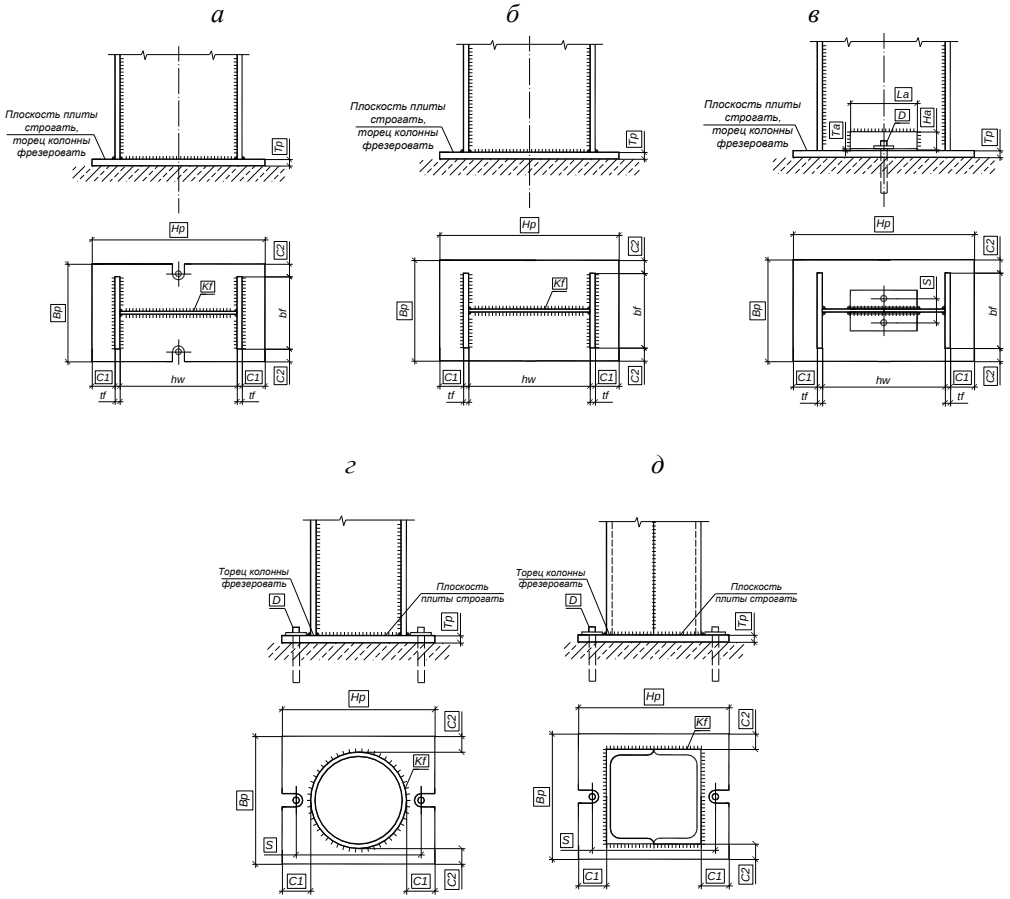


Рис. 9.5.2-2. Типы конструктивных решений шарнирных баз колонн без траверс и консольных ребер

Главное окно режима **Шарнирные базы колонн** содержит следующие страницы: **Конфигурация** (рис. 9.5.2-3, 9.5.2-4), **Усилия** (рис. 9.5.2-7), **Конструкция** (рис. 9.5.2-8, 9.5.2-9, 9.5.2-10), **Сварка**, **Чертеж** (рис. 9.5.2-11) и **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.2-12).

Работа в режиме **Шарнирные базы колонн** начинается с выбора типа сечения колонны, который реализуется нажатием соответствующей кнопки на странице **Конфигурация** (рис. 9.5.2-3 и 9.5.2-4). В этом режиме предусмотрено четыре типа сечения: прокатный двутавр, сварной двутавр, составное сечение из двух прокатных швеллеров и труба. Размеры поперечного сечения сварного двутавра и номер профиля прокатного двутавра определяются так же, как и в режиме **Жесткие базы колонн**.

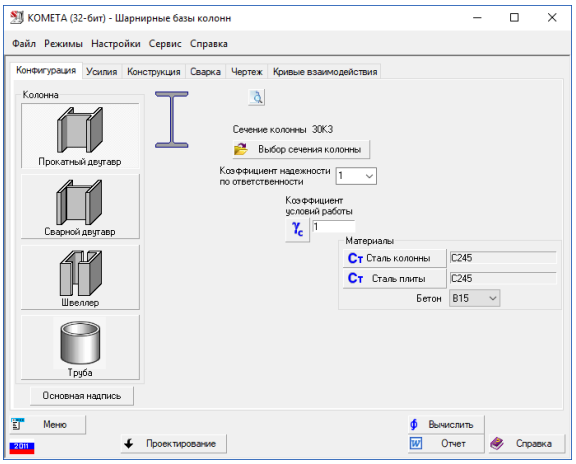


Рис. 9.5.2-3. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Шарнирные базы колонн** (тип поперечного сечения колонны – прокатный двутавр)

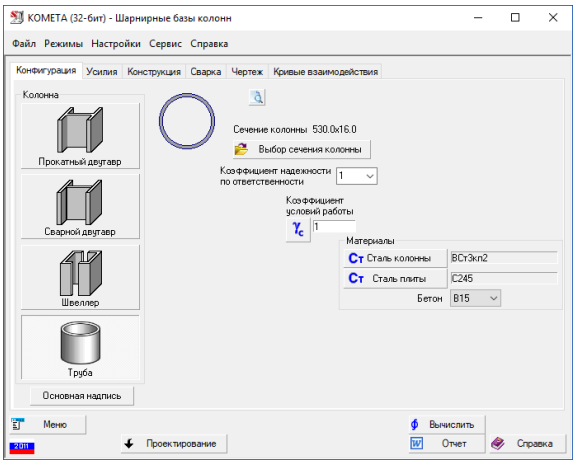


Рис. 9.5.2-4. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Шарнирные базы колонн** (тип поперечного сечения колонны – труба)

Если в качестве типа сечения колонны выбрано составное сечение из двух прокатных швеллеров, необходимо определить сортамент и номер швеллера в данном сортаменте. Это осуществляется в диалоговом окне **Выбор профиля** (рис. 9.5.2-5), которое становится доступным после нажатия кнопки **Выбор сечения колонны**. Расстояние между внешними гранями стенок швеллера для такого сечения пользователь может назначить в поле ввода **B** на странице **Конструкция** (для первого типа узла базы). В том случае, когда в качестве типа сечения колонны выбрана труба, ее размеры назначаются выбором из соответствующего сортамента.

Обеспечена возможность графического контроля поперечного сечения колонны в информационном окне (рис. 9.5.2-6), которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

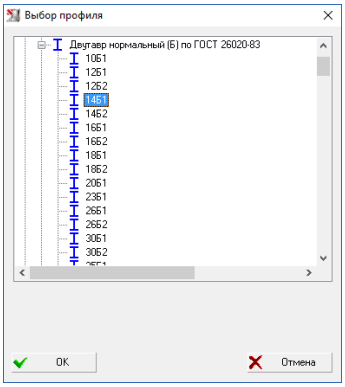


Рис. 9.5.2-5. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

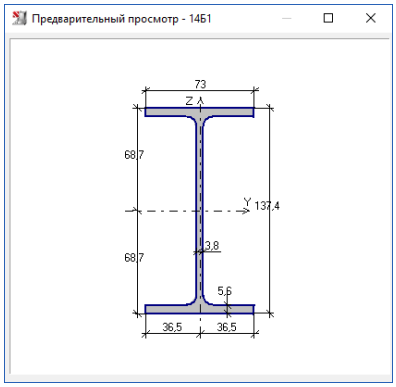


Рис. 9.5.2-6. *Информационное окно* **Предварительный просмотр**

Материалы, использующиеся для расчета и проектирования узла шарнирной базы колонны, определяются нажатием одноименных кнопок Сталь колонны (служит для назначения стали колонны) и Сталь плиты (служит для назначения стали опорной плиты базы, траверс, консольных ребер, анкерных плиток и т.д.). В выпадающем списке **Бетон** предлагаются для выбора классы бетона для фундамента (см. рис. 9.5.2-3).

В поле **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо также ввести значение

соответствующего коэффициента, на который в последующем будут умножены все значения внутренних усилий, действующих в опорном сечении колонны (см. рис. 9.5.2-3 и 9.5.2-4). Коэффициент условий работы колонны можно ввести в соответствующем окне ввода или же выбрать в диалоговом окне **Коэффициенты условий работы** (см. п. 9.4.5), нажав на расположенную рядом кнопку ( ).

Коэффициент условий работы опорной плиты базы колонны вычисляется в данном режиме автоматически. Пользователю необходимо задать коэффициент условий работы колонны, а не опорной плиты.

Функциональные возможности кнопки **Основная надпись** аналогичны тем, которые предусмотрены в режиме **Жесткие базы колонн**.

На странице **Сварка** задаются параметры сварных соединений для узла. В группе **Параметры соединения** в специальных выпадающих списках необходимо назначить тип и вид сварки, а также определить положение шва. Реализованы виды сварки, соответствующие табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014), а именно: ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при диаметре сварочной проволоки менее 1.4 мм, автоматическая и полуавтоматическая при диаметре сварочной проволоки 1.4…2.0 мм, автоматическая при диаметре сварочной проволоки 3…5 мм и полуавтоматическая порошковой проволокой. При этом положение сварных швов может быть в лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное. В группе **Свойства материалов для сварки** отображаются значения расчетного сопротивления угловых швов на условный срез по металлу шва R_{wf} и нормативного сопротивления металла шва R_{wun}. Определить эти значения можно в диалоговом окне **Материалы для сварки**, которое становится доступным после нажатия кнопки . Принципы работы в режиме **Материалы для сварки** описаны в п. 9.4.4.

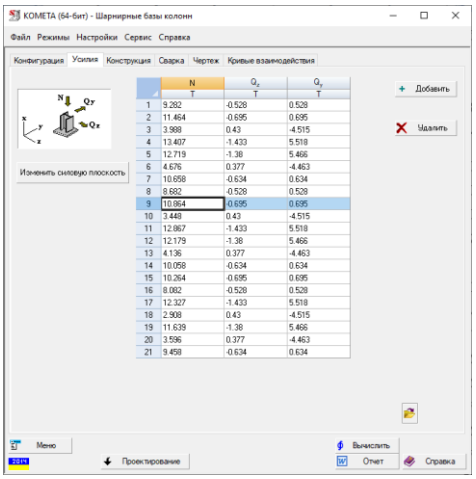


Рис. 9.5.2-7. *Страница* **Усилия** *режима* **Шарнирные базы колонн**

На странице **Усилия** (рис. 9.5.2-7) задаются внутренние усилия, действующие в узле базы колонны: N - продольное усилие; Q_z и Q_y - поперечные силы в двух плоскостях. Таким образом, в этом режиме кроме продольного усилия предусмотрена возможность задать две поперечные силы, возникновение которых характерно для колонн связевых блоков каркасов.

При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения продольного усилия и поперечных сил для текущей расчетной комбинации нагрузок. На рисунке, расположенном рядом с таблицей внутренних усилий, определены положительные направления внутренних усилий в сечениях элементов базы колонны. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицы измерения продольных и поперечных усилий – тонны. Другие единицы измерения внутренних усилий, действующих в узле, можно определить на странице **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки приложения** (см. п. 2.2).

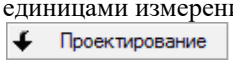
Предусмотрена возможность смены силовой плоскости (кнопка **Изменить силовую плоскость**, нажатие которой приводит к смене M_y на M_z и Q_y на Q_z).

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и

импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

Страница **Конструкция** содержит группу кнопок для выбора конструктивного решения узла шарнирной базы колонны (рис. 9.5.2-8, 9.5.2-9 и 9.5.2-10).

При оценке несущей способности заданного конструктивного решения узла базы колонны расчетные параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Конструкция**. Диаметр и марка стали фундаментных болтов задаются в специальных выпадающих списках, объединенных в группу **Болты анкерные**. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров приняты миллиметры.

При нажатии кнопки 

появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы*** (см. п. 9.5.1), то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

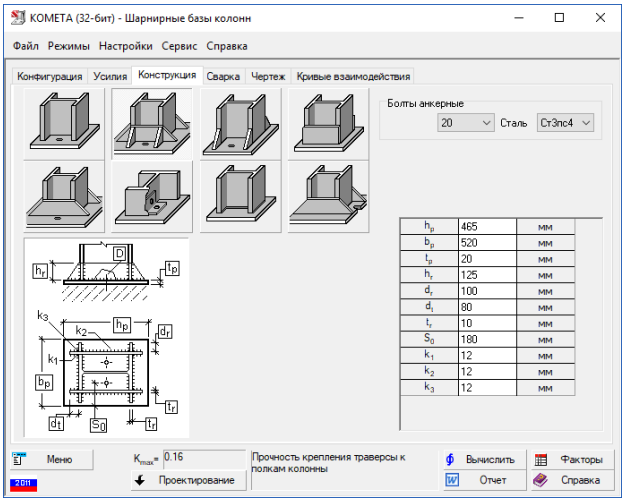


Рис. 9.5.2-8. *Страница* **Конструкция** *режима* **Шарнирные базы колонн** (тип сечения колонны – прокатный или сварной двутавр)

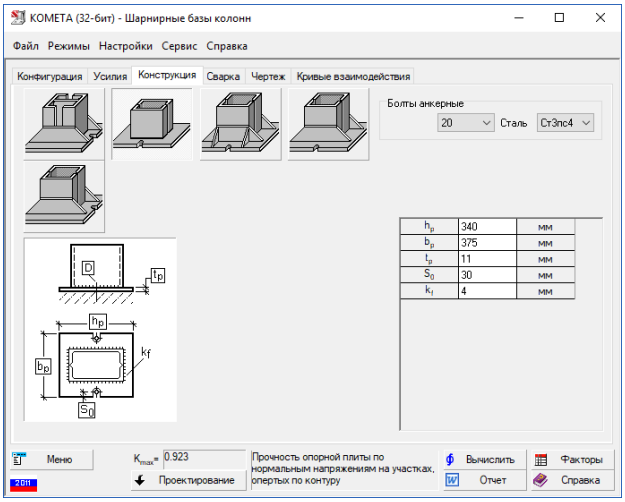


Рис. 9.5.2-9. *Страница* **Конструкция** *режима* **Шарнирные базы колонн** (тип сечения колонны – швеллер)

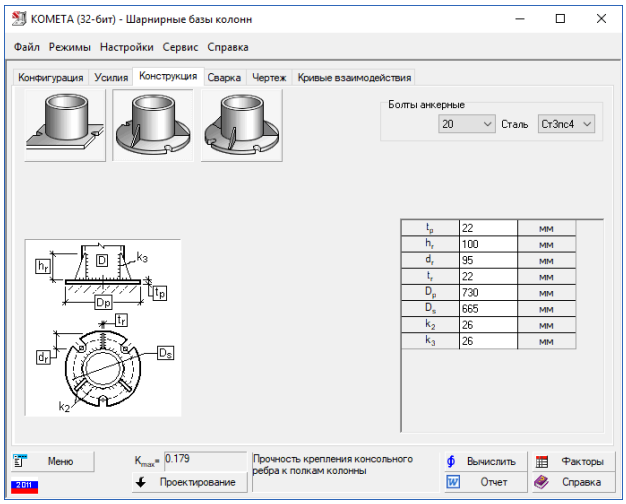


Рис. 9.5.2-10. *Страница* **Конструкция** *режима* **Шарнирные базы колонн** (тип сечения колонны – труба)

Автоматизированный подбор параметров конструктивного решения узла шарнирной базы колонны совершался на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 9.2). При этом в качестве управляемых параметров принимались диаметр анкерных болтов и толщина опорной плиты, а также габариты опорной плиты базы.

При нажатии кнопки

программа выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к узлу (колонны), конструктивных элементов узла (опорной плиты, траверс, консольных ребер и т.д.) и сварных соединений при заданных (или ранее подобранных) значениях всех параметров узла в соответствии с требованиями норм.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла шарнирной базы колонны стадии КМ.

Полный перечень выполненных проверок доступен по нажатию кнопки **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов**, где можно ознакомиться со значениями всех коэффициентов использования ограничений, представленных тут в числовой и графической формах. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов шарнирных баз колонн представлен в табл. 9.5.2-1.

С помощью кнопки **Отчет** предусмотрена возможность формирования отчетного документа, который содержит исходные данные и результаты расчета, его создание описано в разделе 2.5.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 9.5.2-11) выполняется проверка несущей способности узла шарнирной базы аналогично нажатию кнопки **Вычислить**. Если результаты проверки параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла шарнирной базы стадии КМ.

Функциональные возможности кнопки **Отчет**, а также элементов управления, расположенных на странице **Чертеж**, аналогичны тем, которые описаны в режиме **Жесткие базы колонн** (см. п. 9.5.1).

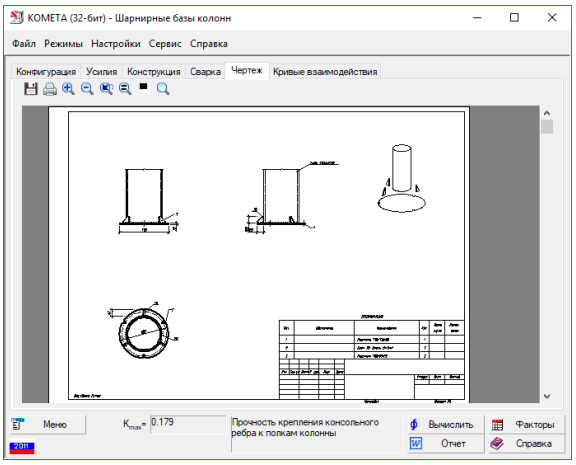


Рис. 9.5.2-11. *Страница* **Чертеж** *режима* **Шарнирные базы колонн**

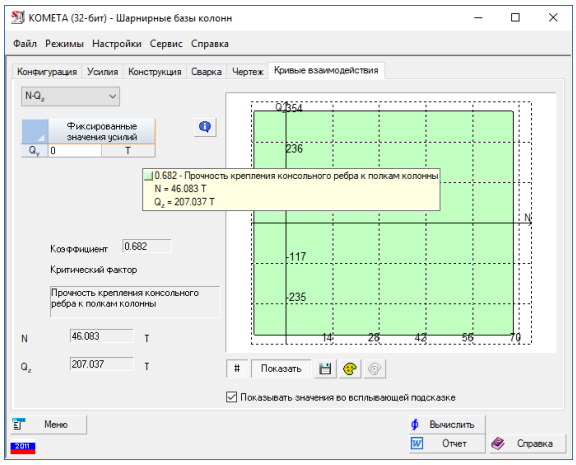


Рис. 9.5.2-12. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Шарнирные базы колонн**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.2-12) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла шарнирной базы колонны при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в опорном сечении колонны.

Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла шарнирной базы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на области кривой взаимодействия.

Табл. 9.5.2-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов шарнирных баз колонн

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность опорной плиты по приведенным напряжениям	рис. 9.5.2-2	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4), п. 1.7.2, (1.7.1)	п. 9.2.1, (9.4), п. 11.2, (11.1)	п. 7.14, (29)
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых по контуру	рис. 9.5.2-1, *а*, *в*, *г*, *д*, *е*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (103)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12, (24)

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на три стороны	рис. 9.5.2-1, *а, б, г, д, е*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (104)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12, (24)
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на участках, опертых на две стороны, которые сходятся под углом	рис. 9.5.2-1, *а*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (104)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.2), табл. Н.2	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12, (24)
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на консольных участках плиты	рис. 9.5.2-1, *д, е*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101), (102)	п. 1.7.2, (1.7.1), п. Н, (Н.1)	п.11.2, (11.1), п. М, (М.1), (М.2) табл. М.2	п. 7.12, (24)
Прочность опорной плиты по нормальным напряжениям на свободных трапециевидных участках плиты	рис. 9.5.2-1, *а, б, в, г* рис. 9.5 .2-2	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.6.2, (101)	п. 1.7.2, (1.7.1)	п.11.2, (11.1)	п. 7.12, (24)
Прочность бетона фундамента на местное смятие под плитой	рис. 9.5.2-1, рис. 9.5.2-2						
Прочность крепления колонны к опорной плите	рис. 9.5.2-2, *а,б*	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)
Прочность крепления траверсы к полкам колонны	рис. 9.5.2-1, *а,в,г,д,е*	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)

Название фактора	Тип базы	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность крепления траверсы к опорной плите	рис. 9.5.2-1, *а,в,г,д,е*	п. 11.2*, (120)-(121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129)-(130)
Прочность крепления консольного ребра к полкам колонны	рис. 9.5.2-1, *б*	п. 11.4, (33)	п. 15.1.15, (38)	п. 14.1.15, (44)	п. 1.12.1.15, (1.5.4)	п. 16.1.15, (9.4)	п. 13.4
Прочность крепления консольного ребра к траверсе	рис. 9.5.2-1, *а*	п. 11.5, (120)-(123), (126)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.5, (129)-(132), (135)
Прочность болтового соединения анкерного уголка с опорной плитой	рис. 9.5.2-2, *в*	п. 11.7*, (127)-(128), п. 11.8, (130)	п. 15.2.9, (167), п. 15.2.10, (168)	п. 14.2.9, (186), (187), п. 14.2.10, (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.13), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.12), (16.13), п. 16.2.10, (16.15)	п. 13.7, (136)-(137), п. 13.8, (139)
Примечания: см. *Примечания* табл. 9.5.1-1.							

Одновременно в поле **Коэффициент** выводится максимальное значение коэффициента использования ограничений K_{max}, соответствующее текущим значениям внутренних усилий, а в поле **Критический фактор** выдается название типа проверки, для которой он вычислен. Если курсор мыши располагается за границами области несущей способности, где $K_{max} > 1$, то рядом с названием типа проверки появляется предупреждающий знак .

9.5.3 Стыки балок

Режим **Стыки балок** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений монтажных стыков двутавровых балок, выполненных на высокопрочных болтах или болтах обычной прочности с использованием накладок или фланцев. Данный режим охватывает широкий спектр конструктивных решений монтажных узлов балок:

- стыки балок на накладках с использованием обычных болтовых соединений на болтах нормальной и повышенной точности и соединения на высокопрочных болтах (рис. 9.5.3-1);
- фланцевые стыки балок различной конфигурации на высокопрочных болтах с регулярным их размещением вдоль стенок балок (рис. 9.5.3-2);
- фланцевые стыки балок различной конфигурации на высокопрочных болтах с нерегулярным их размещением вдоль стенок и полок балок (рис. 9.5.3-3).

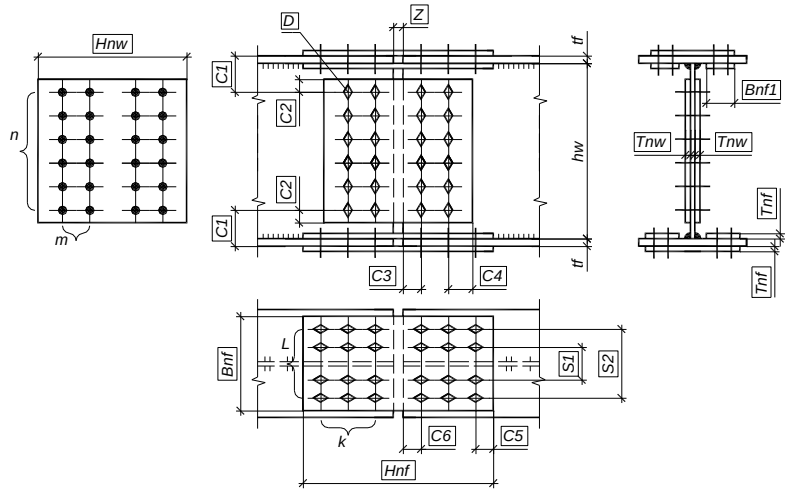
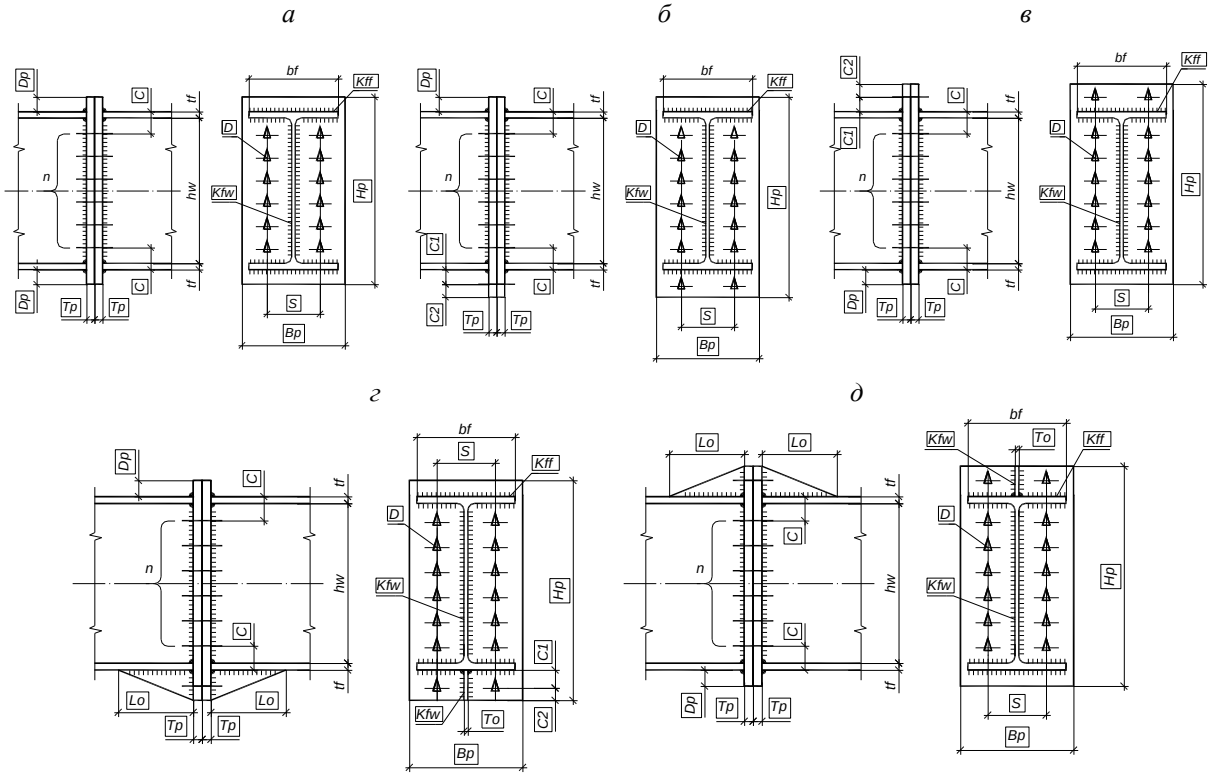


Рис. 9.5.3-1. Конструктивное решение стыка балок на накладках



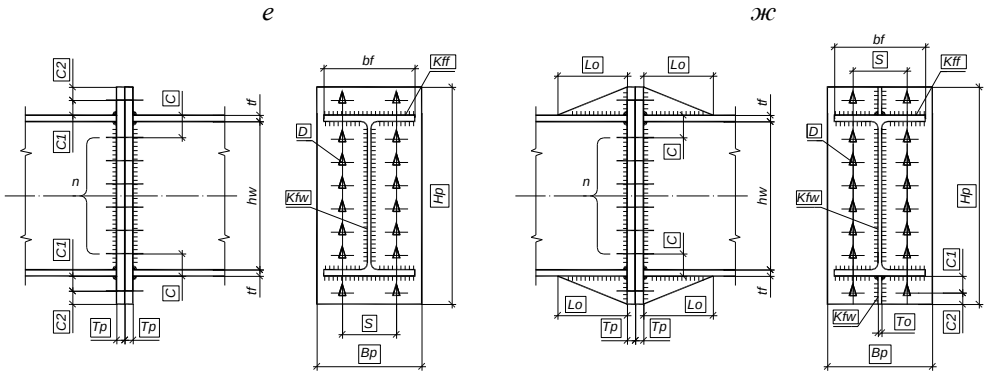


Рис. 9.5.3-2. Типы конструктивных решений фланцевых стыков с регулярным размещением болтов вдоль стенок балок

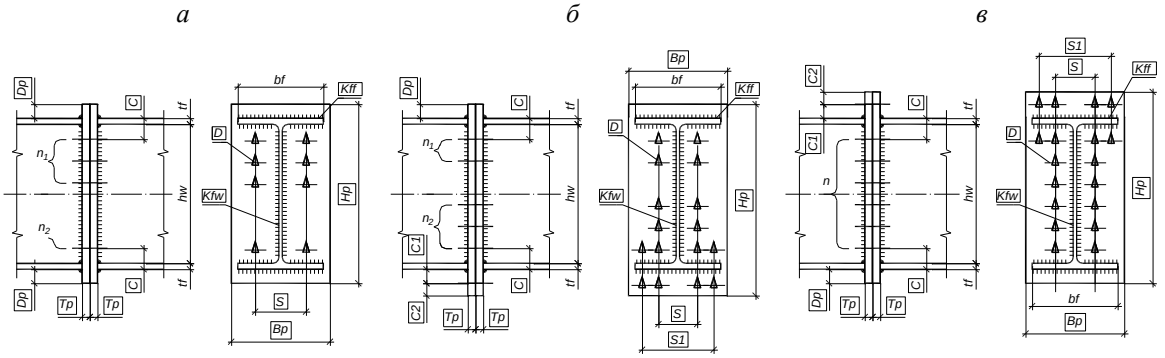


Рис. 9.5.3-3. Примеры типов фланцевых стыков балок с нерегулярным размещением высокопрочных болтов: *а* – вдоль стенки балки; *б* – вдоль стенки и полки балки; *в* – вдоль полки балки.

Монтажный стык балок на накладках имеет перед фланцевыми стыками то преимущество, что точность изготовления конструкций может быть пониженной. Однако он обычно требует использования гораздо большего количества болтов по сравнению со стыками на фланцах, что определяет сравнительно большую трудоемкость монтажа конструкций. Кроме того, соединение на накладках связано с ослаблением сечения соединяемых элементов отверстиями, что ведет в некоторых случаях к увеличению расхода стали на основные элементы конструкции.

Необходимо заметить, что автоматизированный расчет стыков балок на накладках предусматривает, что размеры поперечного сечения накладок, при помощи которых перекрывается стык балок, принимаются максимально приближенными к размерам поперечного сечения балки. Речь идет как о толщинах накладок, так и об их линейных размерах (в частности, о высоте накладки на стенках балок и ширине накладок на полках балок). В том случае, когда высота накладки на стенках балок будет задана пользователем меньшей, чем расчетная высота стенки балки, в проверочном расчете такого узла необходимо учитывать концентрации напряжений. Вследствие отсутствия каких-либо нормативных методик выполнения такого уточняющего расчета, данная возможность в программе не реализована. Таким образом, если пользователем будут заданы габаритные размеры накладок, не соответствующие размерам сечения балки, программа выдаст сообщение об ошибке.

Фланцевые стыки чаще всего стремятся запроектировать таким образом, чтобы габариты фланца по высоте практически соответствовали высоте балки (см. рис. 9.5.3-2, *а*, рис. 9.5.3-3, *а*). Если изгибающий момент, действующий в стыке балок, трудно воспринять болтами, расположенными между полками балок, то возникает необходимость в использовании конструктивных решений с выносными рядами болтов,

которые увеличивают габарит фланца вниз (см. рис. 9.5.3-2, *б*, *г*, рис. 9.5.3-3, *б*) или вверх (см. рис. 9.5.3-2, *в*, *д*, рис. 9.5.3-3, *в*) в зависимости от преобладающего знака момента. При значительных знакопеременных моментах используются конструктивные решения фланцевых стыков с выносными болтами по обе стороны балки (см. рис. 9.5.3-2, *е*, *ж*).

При работе этого режима в соответствии с нормами выполняются следующие проверки:

- прочности накладок и фланцев;
- прочности болтовых и сварных соединений, присутствующих в узле;
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

Главное окно режима **Стыки балок** включает следующие страницы: **Материалы** (рис. 9.5.3-4, 9.5.3-5), **Усилия** (рис. 9.5.3-6), **Конструкция** (рис. 9.5.3-7, 9.5.3-8, 9.5.3-9, 9.5.3-10), **Сварка**, **Чертеж** (рис. 9.5.3-11) и **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.3-12).

Работа в режиме **Стыки балок** начинается с назначения материалов, используемых в соединении балок. Определить марку стали для стыкуемых балок можно в диалоговом окне **Сталь**, которое становится доступным после нажатия кнопки **Сталь балки** на странице **Материалы**. Детальное описание функциональных возможностей этого режима работы приводится в п. 9.4.1.

Коэффициент условий работы балок можно ввести в соответствующем окне ввода или же выбрать в диалоговом окне **Коэффициенты условий работы**, нажав на расположенную рядом кнопку ( ). Детальное описание функциональных возможностей этого диалогового окна приведено в п. 9.4.5.

Коэффициент условий работы балок при их расчете на прочность по сечению, ослабленному отверстиями, вычисляется в данном режиме автоматически.

На этой же странице в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** необходимо задать значение соответствующего коэффициента, на который в дальнейшем будут умножены все расчетные значения внутренних усилий всех расчетных комбинаций нагружений, действующих в стыке.

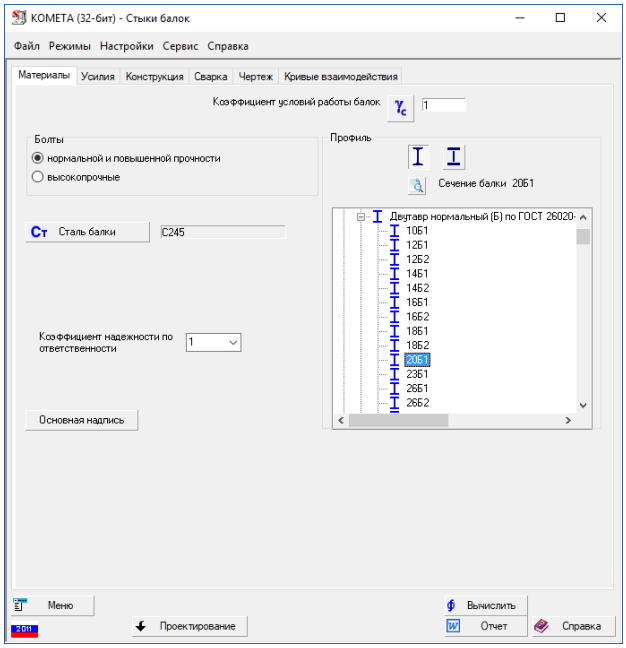


Рис. 9.5.3-4. *Страница* **Материалы** *режима* **Стыки балок** (для типа сечения балок выбран прокатный двутавр)

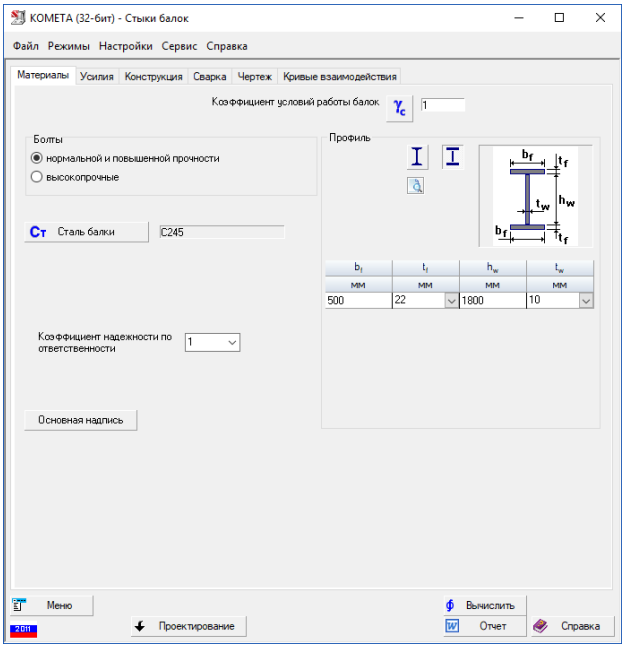


Рис. 9.5.3-5. *Страница* **Материалы** *режима* **Стыки балок** (для типа сечения балок выбран сварной двутавр)

Элементы управления, объединенные в группу **Профиль**, предназначены для определения типа и размеров поперечных сечений стыкуемых балок. В режиме **Стыки балок** предусмотрены два типа сечения балок: прокатный или сварной двутавр. Выбор типа сечения осуществляется нажатием соответствующих кнопок (или). В соответствии со сделанным выбором изменяется интерфейс правой части страницы **Материалы** (рис. 9.5.3-4, 9.5.3-5). Для прокатного двутавра, выбранного в качестве типа поперечного сечения балки, в древовидном списке необходимо определить сортамент и номер профиля в данном сортаменте. Если же в качестве типа сечения балки выбран сварной двутавр, необходимо определить размеры поперечного сечения балки: высоту h_w и толщину t_w стенки балки, ширину b_f и толщину t_f полки балки. Толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающих списков, в которых содержатся сортаментные размеры листовой стали.

Обеспечена возможность графического контроля заданного поперечного сечения балки в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения стыка балок. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

На странице **Сварка** задаются параметры сварных соединений для узла. В группе **Параметры соединения** в специальных выпадающих списках необходимо назначить тип и вид сварки, а также определить положение шва. Реализованы виды сварки, соответствующие табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014), а именно: ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при диаметре сварочной проволоки менее 1.4 мм, автоматическая и полуавтоматическая при диаметре сварочной проволоки 1.4…2.0 мм, автоматическая при диаметре сварочной проволоки 3…5 мм и полуавтоматическая порошковой проволокой. При этом положение сварных швов может быть в лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное. В группе **Свойства материалов для сварки** отображаются значения расчетного сопротивления угловых швов на условный срез по металлу шва R_{wf} и нормативного сопротивления металла шва R_{wun}. Определить эти значения можно в диалоговом окне **Материалы для сварки**, которое становится доступным после нажатия кнопки . Принципы работы в режиме **Материалы для сварки** описаны в п. 9.4.4.

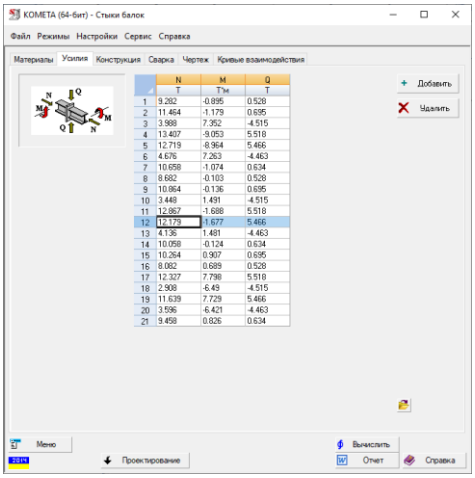


Рис. 9.5.3-6. *Страница* **Усилия** *режима* **Стыки балок**

На странице **Усилия** (рис. 9.5.3-6) задаются внутренние усилия, действующие в стыке балок: продольное усилие N, изгибающий момент M и соответствующая ему поперечная сила Q. Таким образом, реализован общий случай нагружения, когда данный стык может быть использован как в балках перекрытий и покрытий, так и в ригелях поперечных рам стального каркаса.

При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей расчетной комбинации нагрузок.

Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицами измерения продольных и поперечных усилий приняты тонны, изгибающих моментов – тонны×метры. Положительное направление внутренних усилий принимается по рисунку, приведенному слева от таблицы усилий.

Необходимо заметить, что в том случае, когда значения внутренних усилий, действующих в стыке балок, получены из анализа соответствующей конечно-элементной модели системы с учетом ответственности проектируемого здания или сооружения, тогда в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** на странице **Материалы** необходимо выбрать значение соответствующего коэффициента, равное единице.

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

Страница **Конструкция** содержит кнопки, объединенные в группу **Тип узла**, которые предназначены для выбора конструктивного решения узла стыка балок (рис. 9.5.3-7, 9.5.3-8).

В случае использования болтов нормальной и повышенной прочности в выпадающих списках, объединенных в группу **Болты**, необходимо задать марку (диаметр) болтов и класс прочности болтов. При использовании высокопрочных болтов задаются марка (диаметр) болтов, марка стали болтов, их чернота (разница между диаметром отверстия и диаметром болта), способ регулирования натяжения болтов, а также способ обработки (очистки) поверхностей элементов в соединении.

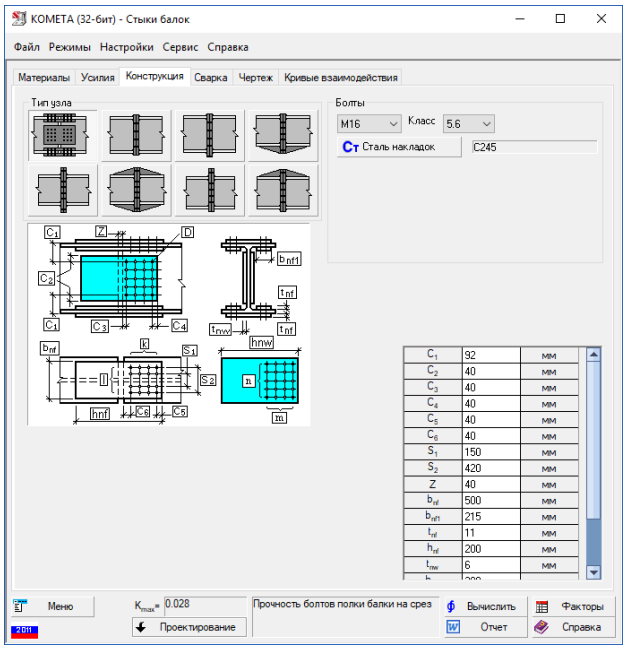


Рис. 9.5.3-7. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок**
(выбран стык на накладках с использованием болтов обычной прочности)

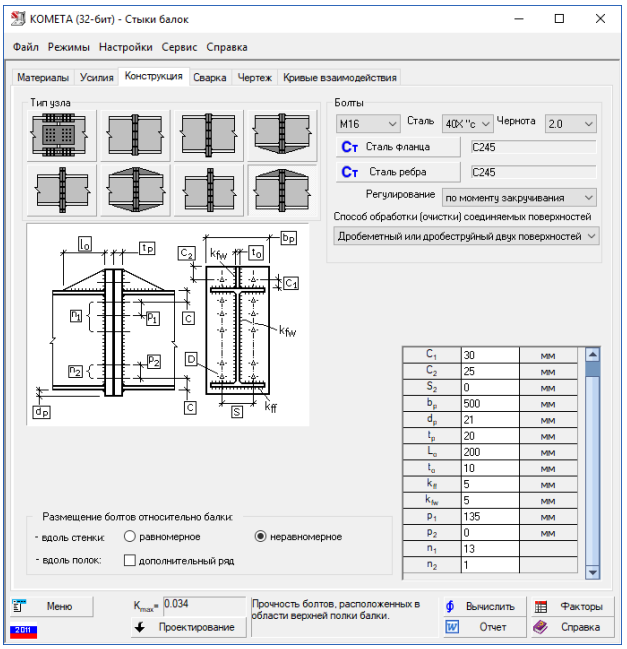


Рис. 9.5.3-8. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок**
(выбран фланцевый стык на высокопрочных болтах с регулярным их размещением вдоль стенки)

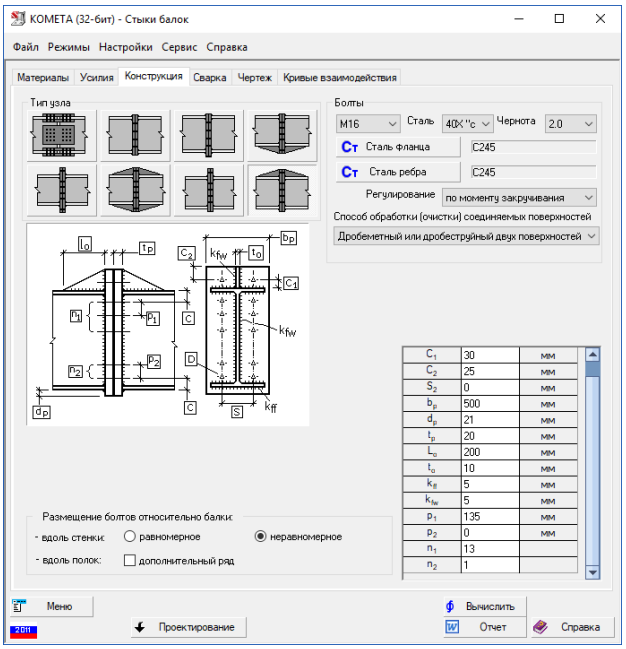


Рис. 9.5.3-9. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок** (выбран фланцевый стык с неравномерным распределением болтов вдоль стенки)

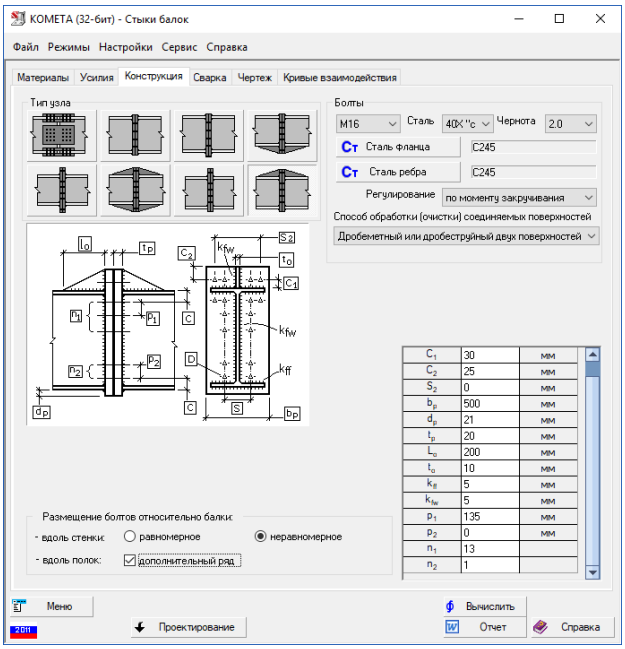


Рис. 9.5.3-10. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок** (выбран фланцевый стык с неравномерным распределением болтов вдоль стенки и полок)

На странице **Конструкция** также задается класс стали для конструктивных элементов стыка балок (накладок или фланцев, в зависимости от выбранного конструктивного оформления стыка) при помощи нажатия одноименных кнопок (Ст Сталь накладок или Ст Сталь фланца).

В том случае, когда пользователю необходимо выполнить расчет или проектирование фланцевых стыков балок с неравномерным распределением болтов вдоль элементов сечения балки (полок и/или стенки), он может воспользоваться группой элементов интерфейса **Размещение болтов относительно балки**, в которой предусмотрена возможность задать равномерное или неравномерное распределение болтов вдоль стенки (рис. 9.5.3-9), а также выбрать конструктивное решение стыка с дополнительным рядом болтов вдоль полок (как правило, растянутых) балки (рис. 9.5.3-10).

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла стыка балок необходимо задать все параметры узла: размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры болтов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Конструкция** справа. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров являются миллиметры.

При нажатии кнопки Проектирование появляется выпадающее меню (см. п. 9.5.1). Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла, и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор конструктивного решения стыка балок совершается на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию *управляемых* параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных

нормами (подробнее см. п. 8.2). В качестве управляемых параметров конструкций узлов стыков балок были выбраны: диаметр болтов и количество рядов болтов – для монтажных стыков балок на накладках, а также диаметр болтов, толщина фланца и количество рядов болтов – для монтажных стыков балок на фланцевых соединениях.

При нажатии кнопки

программа в соответствии с требованиями норм выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к рассматриваемому узлу (балок), конструктивных элементов стыка (накладок, фланцев, ребер, ужесточающих фланец и т.д.), а также сварных и болтовых соединений в стыке при заданных (или ранее подобранных) значениях параметров узла.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения стыка балок стадии КМ.

Полный перечень выполненных проверок доступен по нажатию кнопки **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов**, где можно ознакомиться со значениями всех коэффициентов использования ограничений, представленных тут в числовой и графической формах. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов стыков балок представлен в табл. 9.5.3.

С помощью кнопки **Отчет** предусмотрена возможность формирования отчетного документа, который содержит исходные данные и результаты расчета, его создание описано в разделе 2.5.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 9.5.3-11) выполняется проверка узла стыка балок аналогичная той, которая выполняется при нажатии кнопки **Вычислить**. Если результаты проверки параметров узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла стыка балок стадии КМ.

Функциональные возможности кнопки **Отчет**, а также элементов управления, расположенных на странице **Чертеж**, аналогичны тем, которые предусмотрены в режиме **Жесткие базы колонн** (см. п. 9.5.1).

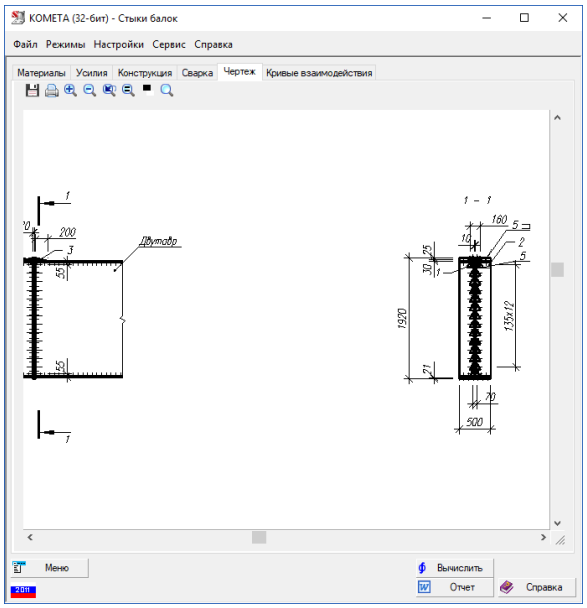


Рис. 9.5.3-11. *Страница* **Чертеж** *режима* **Стыки балок**

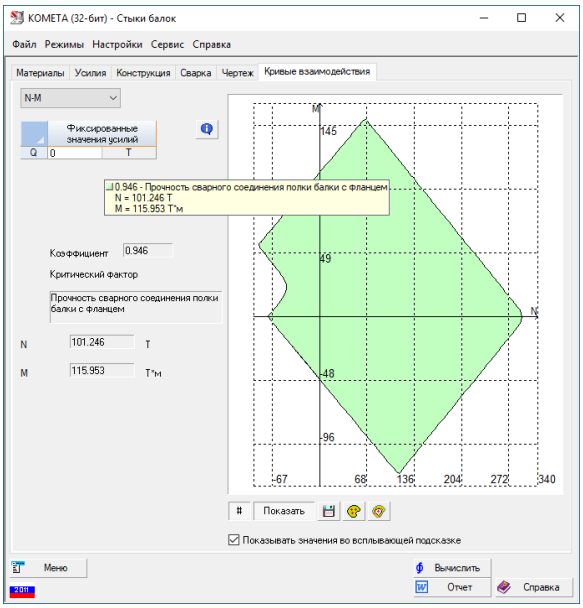


Рис. 9.5.3-12. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Стыки балок**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.3-12) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла стыка балок при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающем к стыку сечении балки. Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла стыка балок. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, соответствующих текущему положению курсора на области построения кривой взаимодействия.

Табл. 9.5.3-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов стыков балок

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [3]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность болтов стенки балки на срез	рис. 9.5.3-1	п. 11.7*, (127), (130)	п. 15.2.9, (165), (168)	п. 14.2.9, (186), (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.12), (16.15)	п. 13.7, (136), (139)
Прочность болтов полки балки на срез	рис. 9.5.3-1	п. 11.7*, (127), (130)	п. 15.2.9, (165), (168)	п. 14.2.9, (186), (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.12), (16.15)	п. 13.7, (136), (139)
Прочность стенки балки и накладок на смятие	рис. 9.5.3-1	п. 11.7*, (128), (130)	п. 15.2.9, (166), (168)	п. 14.2.9, (187), (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.13), (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.13), (16.15)	п. 13.7, (137), (139)
Прочность полки балки и накладок на смятие	рис. 9.5.3-1	п. 11.7*, (128), (130)	п. 15.2.9, (166), (168)	п. 14.2.9, (187), (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.13), (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.13), (16.15)	п. 13.7, (137), (139)
Прочность болтов стенки балки	рис. 9.5.3-1	п. 11.13*, (131), (132)	п. 15.3.3, (170), (171)	п. 14.3.3, (191), (192)	п. 1.12.3.3, (1.12.17), (1.12.18)	п. 16.3.3, (16.17), (16.18)	п. 13.13, (140), (141)
Прочность болтов полки балки	рис. 9.5.3-1	п. 11.13*, (131), (132)	п. 15.3.3, (170), (171)	п. 14.3.3, (191), (192)	п. 1.12.3.3, (1.12.17), (1.12.18)	п. 16.3.3, (16.17), (16.18)	п. 13.13, (140), (141)
Прочность болтов, расположенных в области верхней полки балки	рис. 9.5.3-2	27.13, 27.14 [3]	16.9.2	15.9.2, п.12.2.12 (СП 294.1325800.2017)	1.13.12.2	17.12.2	–
Прочность болтов, расположенных в области нижней полки балки	рис. 9.5.3-2	27.13, 27.14 [3]	16.9.2	15.9.2, п.12.2.12 (СП 294.1325800.2017)	1.13.12.2	17.12.2	–

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [3]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность болтов, расположенных в области стенки балки	рис. 9.5.3-2	27.13, 27.14 [3]	16.9.2	15.9.2, п.12.2.12 (СП 294.1325800.2017)	1.13.12.2	17.12.2	–
Прочность фланца на изгиб	рис. 9.5.3-2	27.13, 27.14 [3]	16.9.2	15.9.2, п.12.2.12 (СП 294.1325800.2017)	1.13.12.2	17.12.2	–
Прочность сварного соединения стенки балки с фланцем	рис. 9.5.3-2	п. 11.2*, (120)-(123)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	пп. 13.2, 13.3, (129)-(132)
Прочность сварного соединения полки балки с фланцем	рис. 9.5.3-2	п. 11.2*, (120)-(123)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	пп. 13.2, 13.3, (129)-(132)
Прочность накладки на полках балок	рис. 9.5.3-1	п. 5.1, (5)	п. 8.1.1, (5)	п. 7.1.1, (5)	п. 1.4.1.1, (1.4.1)	п. 8.1.1, (8.1)	п. 7.1, (1)
Прочность накладки на стенках балок по нормальным напряжениям	рис. 9.5.3-1	п. 5.25*, (50)	п. 10.1.1, (91), п. 9.2.1 (35)	п. 8.2.1, (41), п. 9.1.1, (106)	п. 1.5.2.1, (1.5.1), п. 1.6.1.1, (1.6.2)	п. 9.2.1, (9.1), п. 10.1.1, (10.2)	п. 7.25, (48)
Прочность накладки на стенках балок по касательным напряжениям	рис. 9.5.3-1	п. 5.18*, (41)	п. 9.2.1, (36), (39)	п. 8.2.1, (42), (45)	п. 1.5.2.1, (1.5.2), (1.5.5)	п. 9.2.1, (9.2), (9.5)	п. 7.18, (39)
Прочность накладки на стенках балок по приведенным напряжениям	рис. 9.5.3-1	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4)	п. 9.2.1, (9.4)	п. 7.14, (29)

Примечания: см. *Примечания* табл. 9.5.1-1.

9.5.4 Узлы ферм

Режим **Узлы ферм** предназначен для проектирования и экспертизы конструктивных решений узлов ферм, стержни которых выполнены из спаренных уголков или прямоугольных (квадратных) труб. В режиме реализован широкий набор типов узлов, а именно:

- соединения элементов решетки с поясом фермы (рядовые узлы) (рис. 9.5.4-1, 9.5.4-2);
- узлы смены сечения пояса по длине (рис. 9.5.4-4);
- монтажные узлы ферм (рис. 9.5.4-5);
- опорные узлы ферм (рис. 9.5.4-3, 9.5.4-6).

При работе этого режима в соответствии с нормами выполняются следующие проверки:

- прочности конструктивных элементов (накладок, опорных ребер (фланцев), узловых и опорных фасонок);
- прочности сварных соединений (крепления элементов решетки и пояса к узловым фасонкам, крепление накладок к поясам в узлах смены сечения пояса и в монтажных узлах, крепления опорной фасонки к опорному ребру (фланцу) в опорных узлах фермы);
- прочности болтовых соединений (крепление опорного ребра (фасонки) к опорной конструкции);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

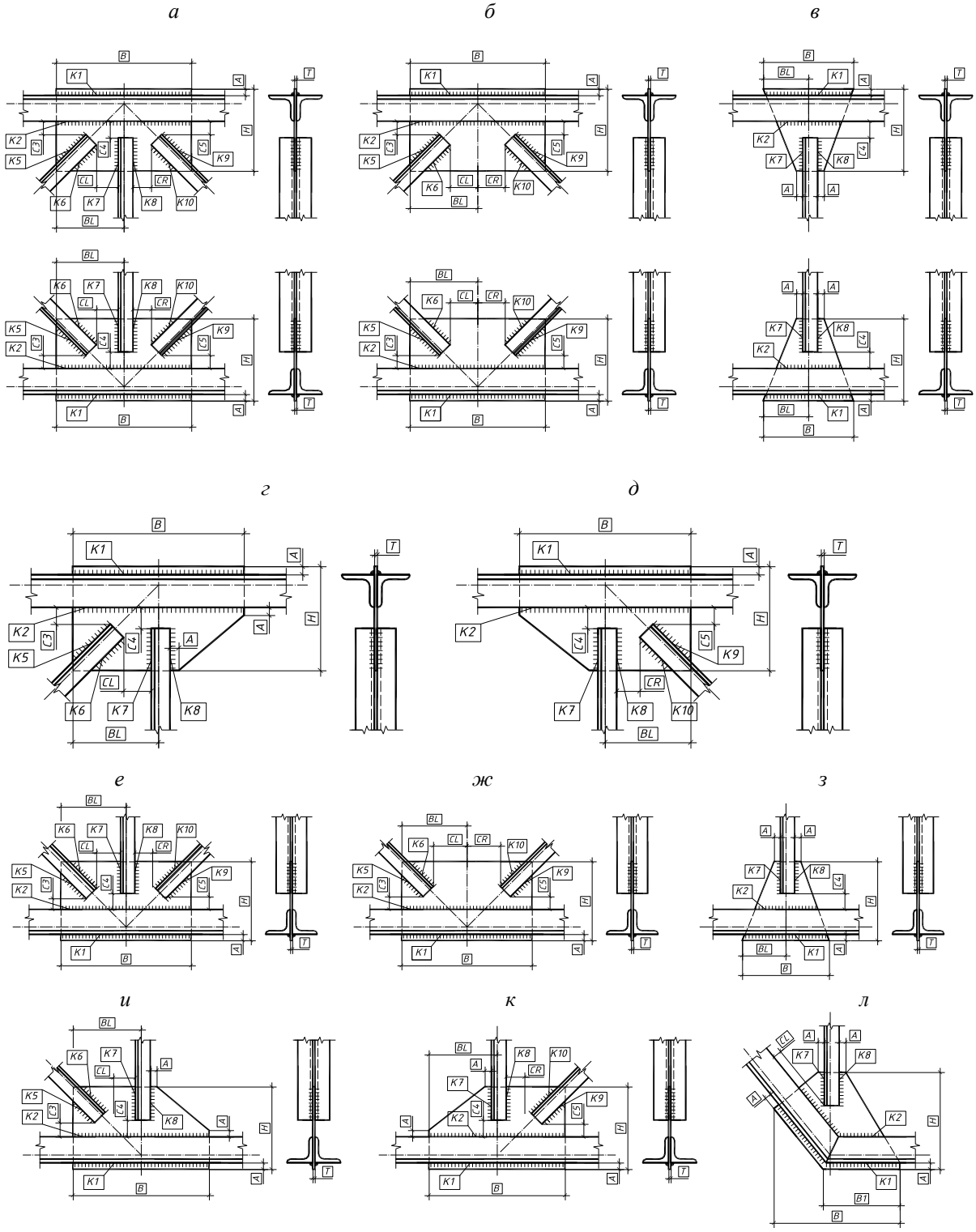


Рис. 9.5.4-1. Рядовые узлы ферм из спаренных уголков

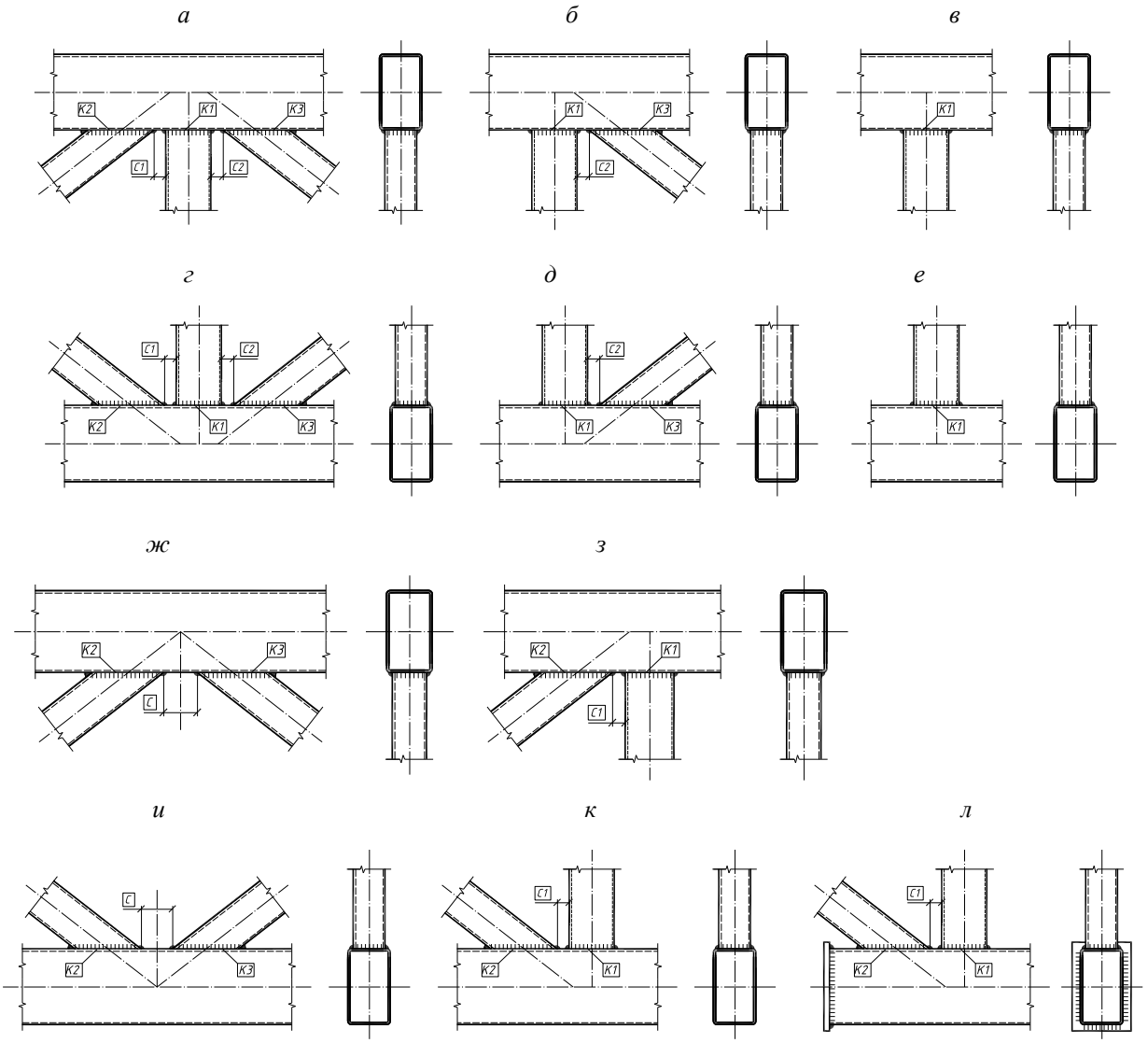


Рис. 9.5.4-2. Рядовые узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб

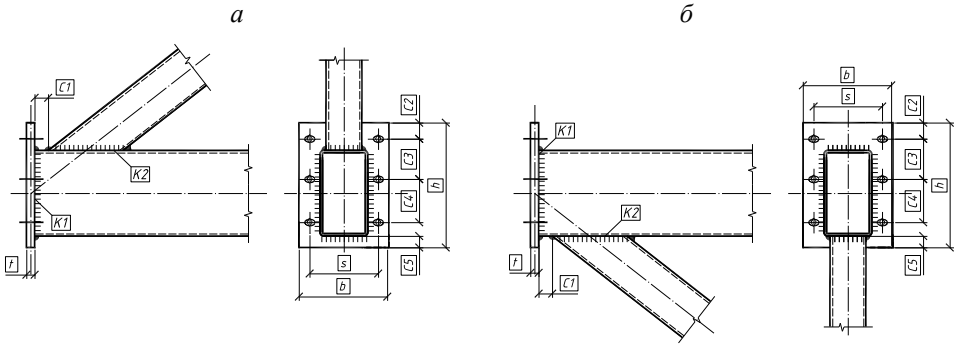


Рис. 9.5.4-3. Опорные узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб

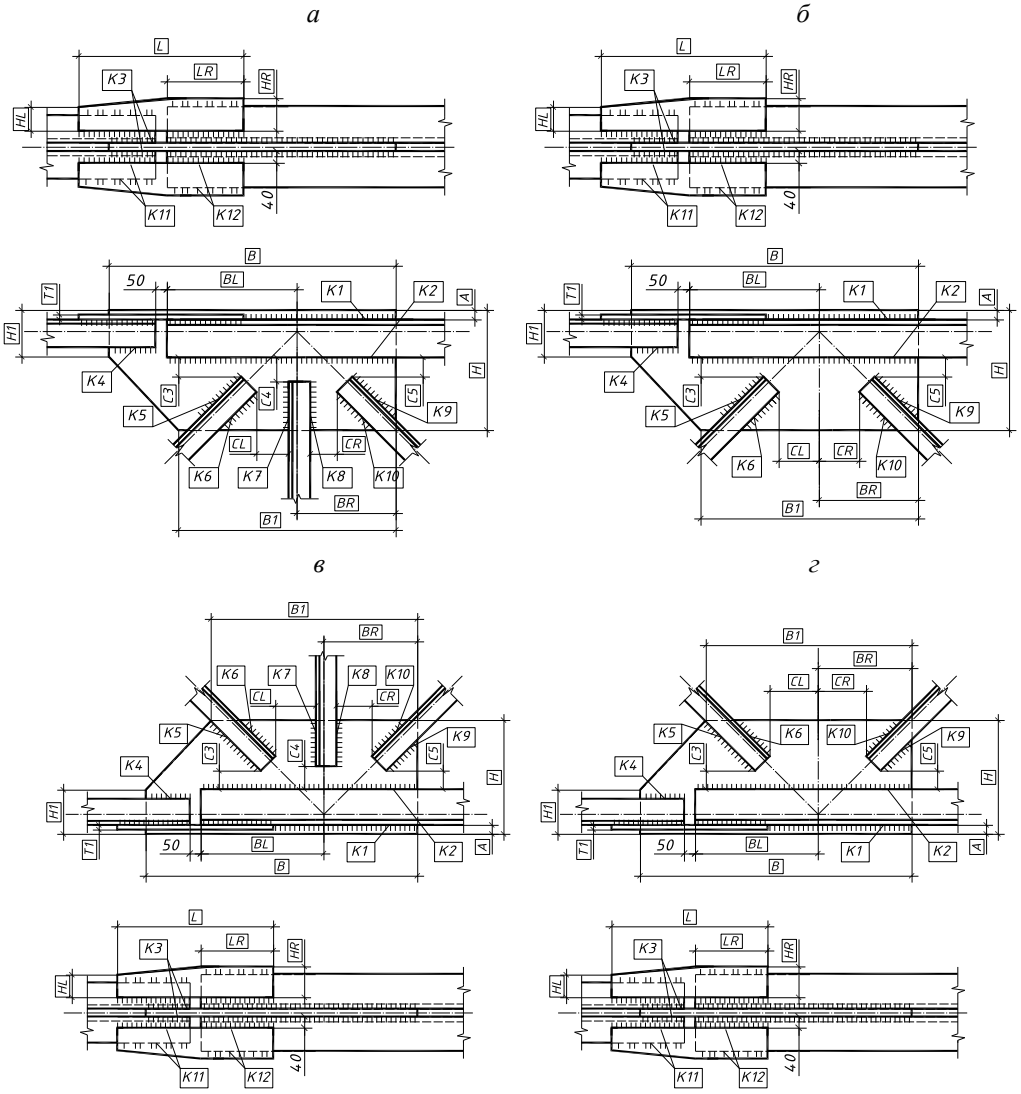
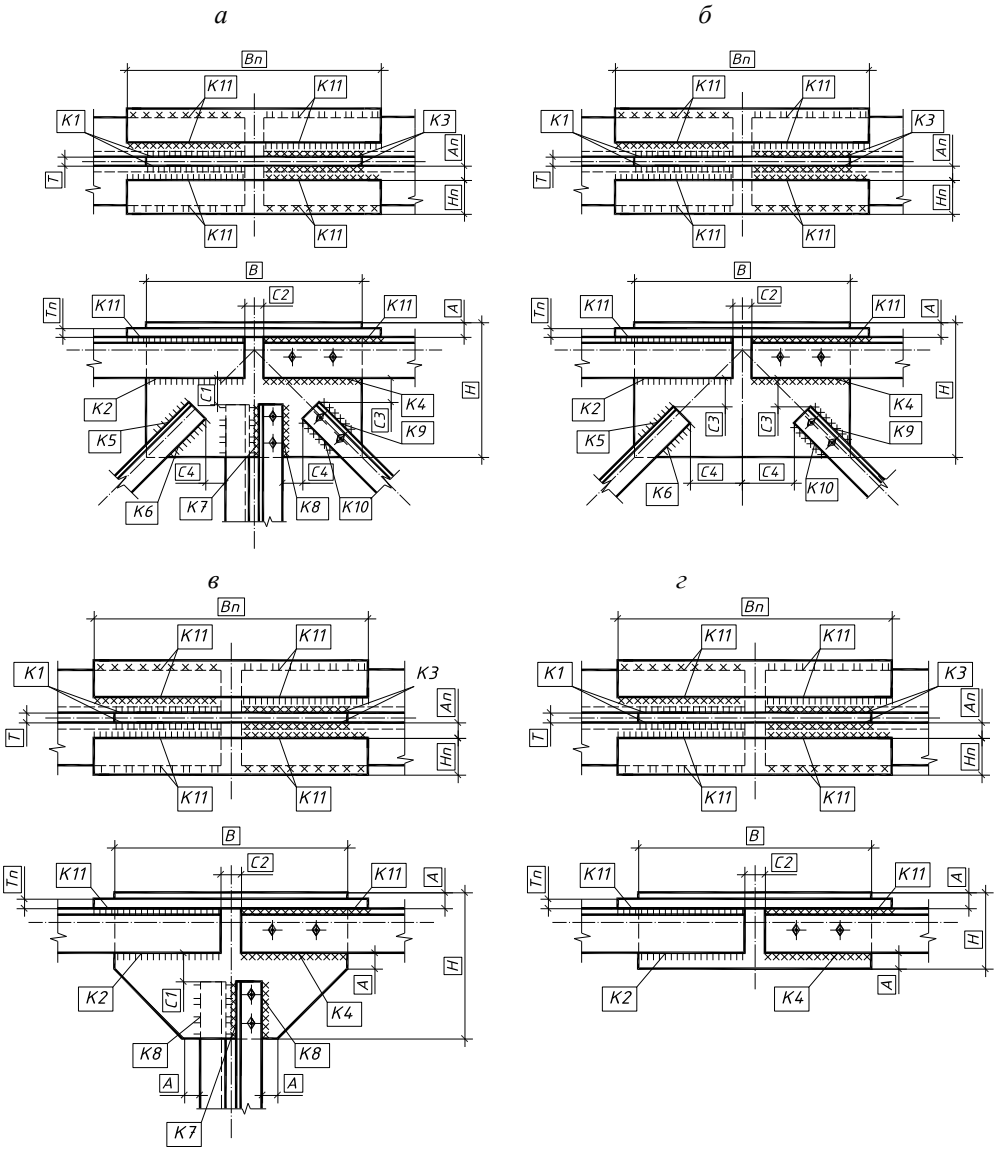


Рис. 9.5.4-4. Узлы смены сечения пояса по длине в фермах из спаренных уголков


а
б
в
г
Вп
К11
К1
К3
Ап
Т
Нп
В
Тп
С2
А
Н
К2
С1
К4
К5
С3
К9
С4
К6
К7
К8
К10

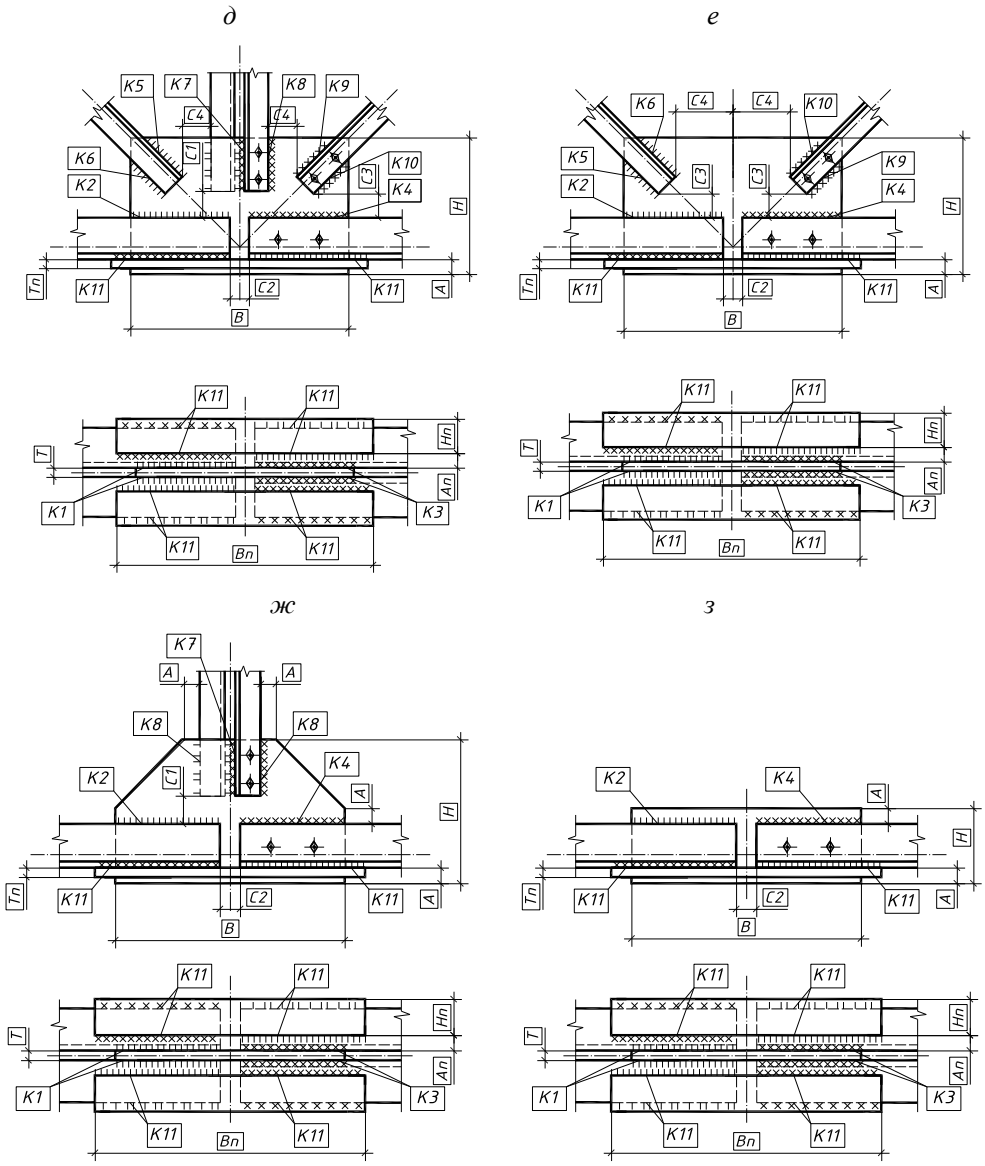


Рис. 9.5.4-5. Монтажные узлы в фермах из спаренных уголков

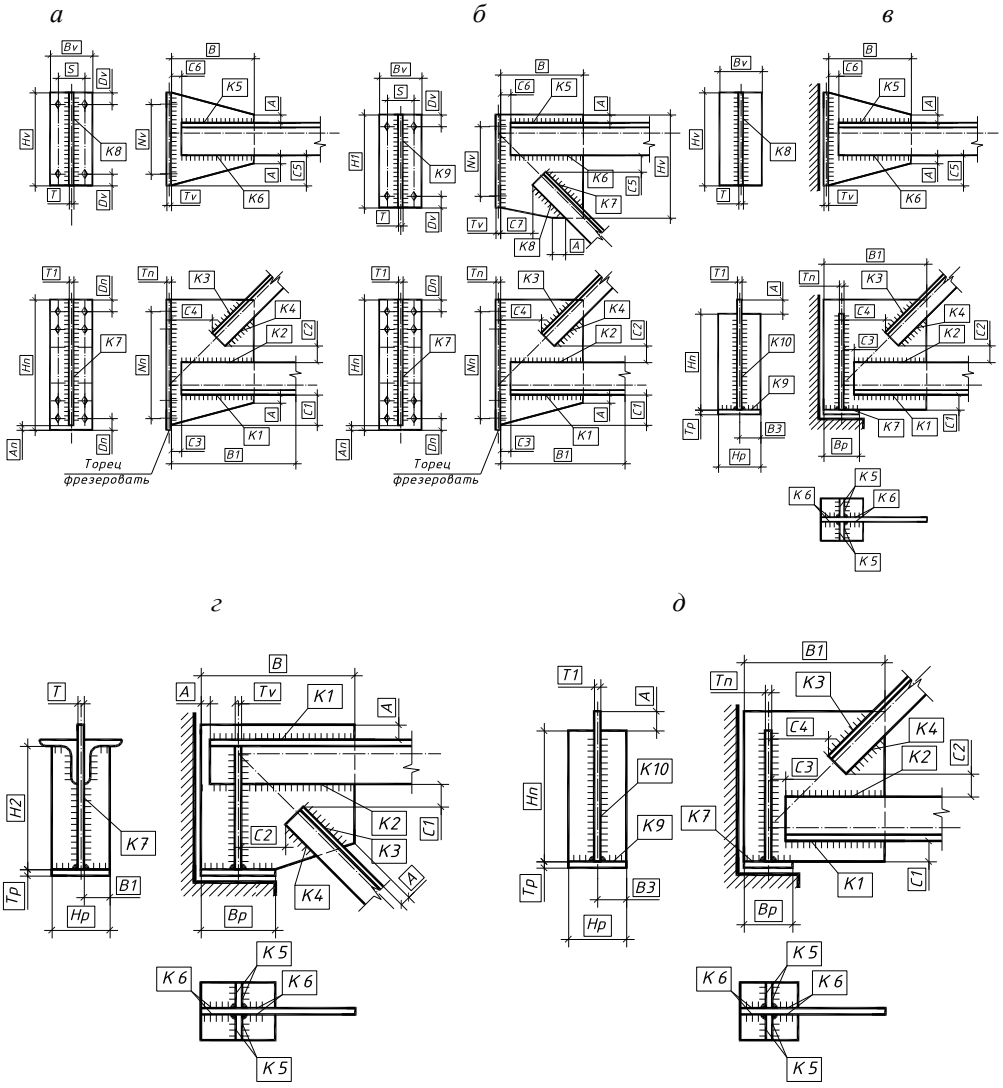


Рис. 9.5.4-6. Опорные узлы ферм из спаренных уголков

Главное окно режима **Узлы ферм** включает семь страниц: **Вид узла** (рис. 9.5.4-7), **Материалы** (рис. 9.5.4-8), **Усилия** (рис. 9.5.4-9), **Элементы узла** (рис. 9.5.4-10), **Конструкция** (рис. 9.5.4-11), **Чертеж** (рис. 9.5.4-12) и **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.4-13).

На странице **Вид узла** (рис. 9.5.4-7) расположены кнопки, позволяющие пользователю выбрать тип узла фермы (**Рядовой узел**, **Смена сечения**, **Монтажный узел** или **Опорный узел**), а также задать его конфигурацию. Тип поперечного сечения стержневых элементов фермы задается нажатием на соответствующие кнопки в группе **Конструктивное решение**. На этой же странице задается класс стали, используемый для несущих элементов фермы (элементов решетки, пояса и т.д.), а также класс стали, используемой для конструктивного оформления узла фермы на уголках (фасонок). Выбрать класс стали для этих элементов можно в диалоговом окне **Сталь**, которое становится доступным после нажатия на кнопки **Сталь профиля** и **Сталь фасонки**. Принципы работы в режиме **Сталь** описаны в п. 9.4.1.

Ниже в выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователем задается соответствующий коэффициент, на значение которого будут умножены все расчетные значения внутренних

усилий, действующих в сечениях элементов фермы, примыкающих к рассматриваемому узлу, для всех расчетных комбинаций нагружений. В том случае, когда значения внутренних усилий были получены пользователем в результате статического анализа уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (например, когда расчетные значения нагрузок задавались умноженными на данный коэффициент), тогда в этом выпадающем списке необходимо выбрать значение коэффициента равное единице.

На этой же странице расположена кнопка **Основная надпись**, предназначенная для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения узла фермы. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

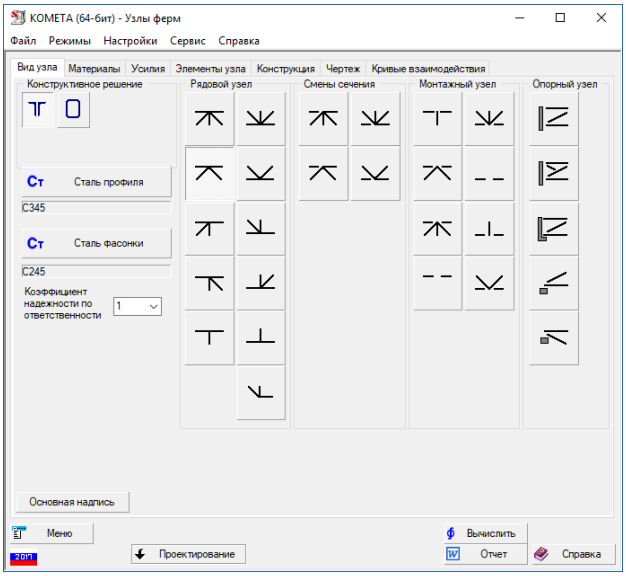


Рис. 9.5.4-7. *Страница* **Вид узла** *режима* **Узлы ферм**

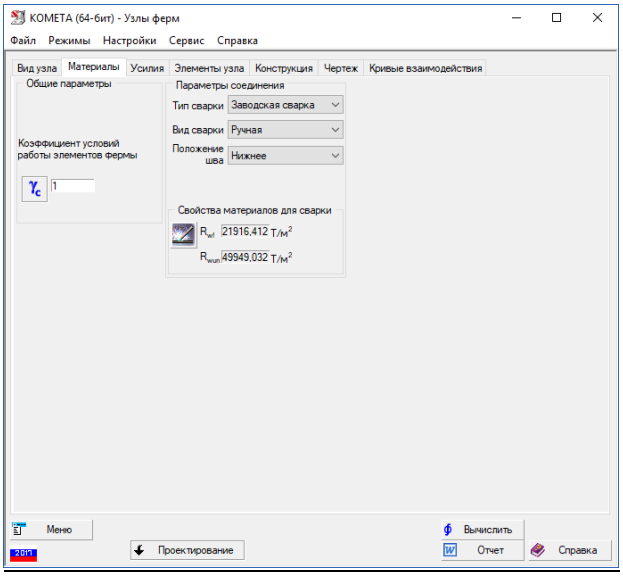


Рис. 9.5.4-8. *Страница* **Материалы** *режима* **Узлы ферм**

На странице **Материалы** (рис. 9.5.4-8) задаются параметры сварных соединений и болтовых соединений (только для опорных узлов ферм) для узла фермы. В группе **Параметры соединения** в специальных выпадающих списках необходимо назначить тип и вид сварки, а также определить положение шва. В режиме **Узлы ферм** реализованы виды сварки, соответствующие табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014), а именно: ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при диаметре сварочной проволоки менее 1.4 мм, автоматическая и полуавтоматическая при диаметре сварочной проволоки 1.4…2.0 мм, автоматическая при диаметре сварочной проволоки 3…5 мм и полуавтоматическая порошковой проволокой. При этом положение сварных швов может быть в лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное. В группе **Свойства материалов для сварки** отображаются значения расчетного сопротивления угловых швов на условный срез по металлу шва R_{wf} и нормативного сопротивления металла шва R_{wun}. Определить эти значения можно в диалоговом окне **Материалы для сварки**, которое становится доступным после нажатия на кнопку . Принципы работы в режиме **Материалы для сварки** описаны в п. 9.4.4.

На странице **Усилия** (рис. 9.5.4-9) задаются продольные усилия N_i, действующие в стержневых элементах узла фермы. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицами измерений продольных усилий

приняты тонны. Правило знаков усилий принимается по рисунку, приведенному сбоку от таблицы усилий, на котором указано их положительное направление.

На странице **Элементы узла** (рис. 9.5.4-10) необходимо определить генеральные размеры (ширина и высота) панелей, соседствующих с проектируемым узлом фермы (параметры a, b, c и d). По умолчанию единицами измерений размеров панелей фермы приняты метры. В группе **Сечение** задаются поперечные сечения элементов, которые соединяются в данном узле, а также их ориентация относительно плоскости фермы.

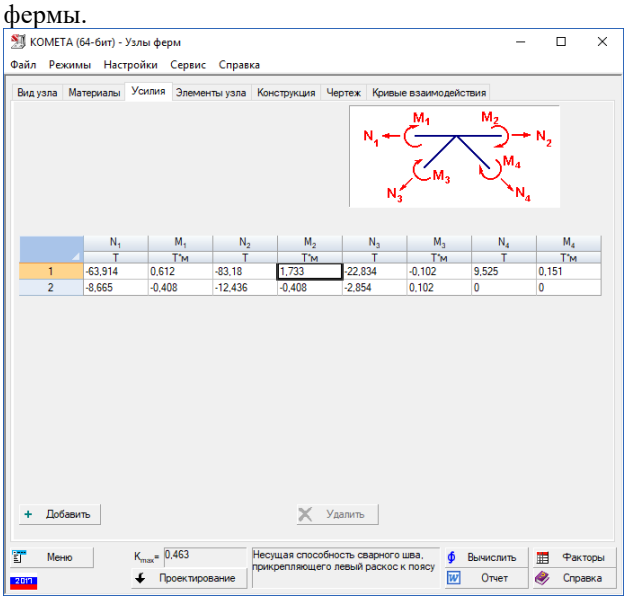


Рис. 9.5.4-9. *Страница* **Усилия** *режима* **Узлы ферм**

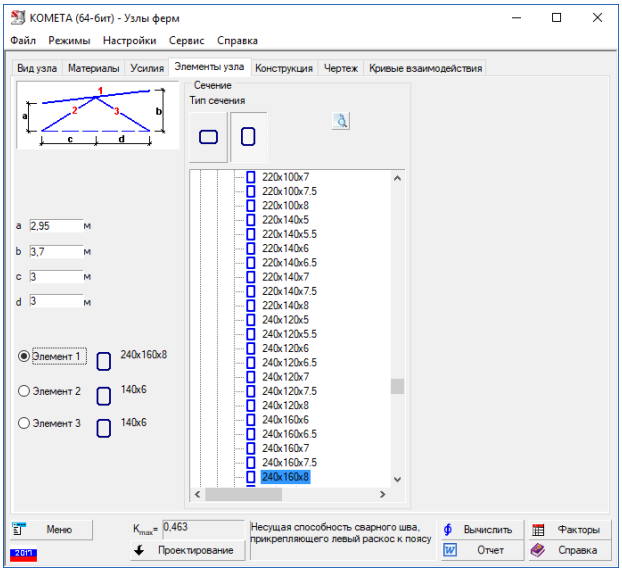


Рис. 9.5.4-10. *Страница* **Элементы узла** *режима* **Узлы ферм**

С помощью кнопок **Тип сечения** можно выбрать:

- сечение из спаренных равнополочных уголков или из спаренных неравнополочных уголков, большая полка которых ориентирована перпендикулярно плоскости фермы;
- сечение из спаренных равнополочных уголков или из спаренных неравнополочных уголков, большая полка которых ориентирована параллельно плоскости фермы;
- сечение из равнополочных уголков, расположенных крестиком, которое используется для стоек монтажного узла;
- сечение из прямоугольной трубы, большая сторона которой ориентирована параллельно плоскости фермы;
- сечение из прямоугольной трубы, большая сторона которой ориентирована перпендикулярно плоскости фермы.

Попутно заметим, что набор кнопок **Тип сечения** зависит от конструктивного решения узла, определенного на странице **Вид узла** в группе **Конструктивное решение**.

Каждому элементу узла фермы присваивается номер (например, Элемент 2). Для назначения профилей элементам узла следует активировать маркер элемента и выбрать профиль из списка сортаментов металлопроката. Возможность графического контроля заданных поперечных сечений элементов узла фермы предусмотрена в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

В группе **Положение фасонки** необходимо нажатием соответствующих кнопок определить положение фасонки. Толщина фасонки выбирается из одноименного выпадающего списка, где представлен набор

толщин, соответствующий сортаменту листовой стали.

На странице **Конструкция** (рис. 9.5.4-11, 9.5.4-12) в информационном окне приводится эскиз проектного решения узла фермы. Внизу страницы можно задать класс стали, используемый для элементов конструктивного оформления узла фермы (накладок – в узлах смены сечения и монтажных узлах; фланцев, опорных плит и опорных ребер – в опорных узлах). Выбрать класс стали для этих элементов можно в диалоговом окне **Сталь**, которое становится доступным после нажатия на одноименные кнопки.

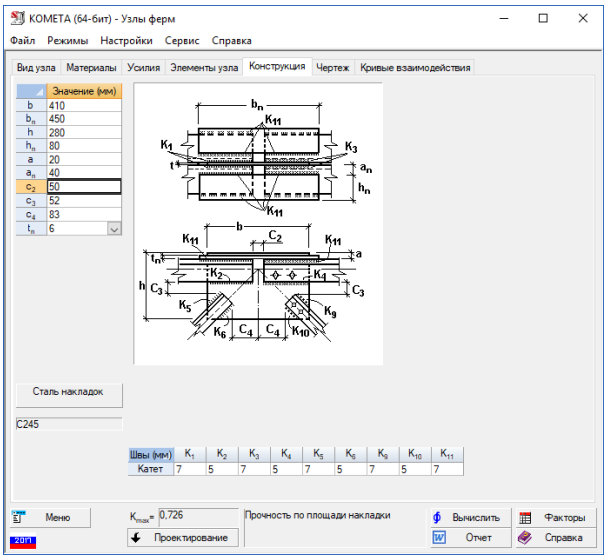


Рис. 9.5.4-11. *Страница* **Конструкция** *режима* **Узлы ферм** (монтажный узел)

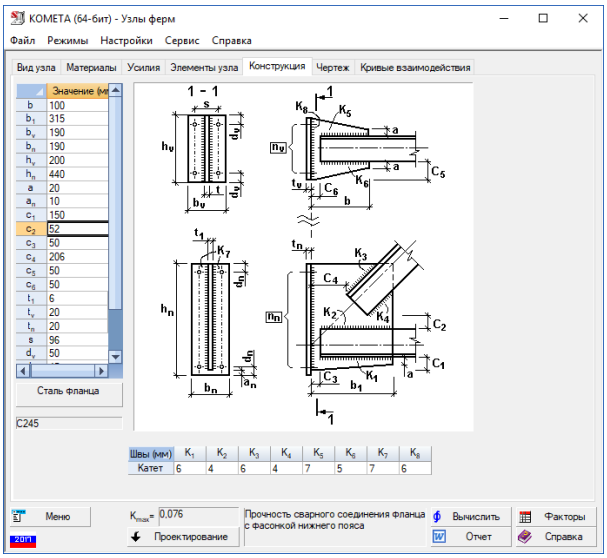
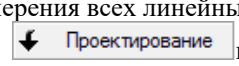
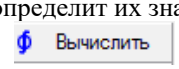


Рис. 9.5.4-12. *Страница* **Конструкция** *режима* **Узлы ферм** (опорный узел)

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла фермы необходимо задать все его расчетные параметры. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, катеты сварных швов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, диаметры болтов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Расчетные параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице слева. Катеты угловых сварных швов вводятся в таблице, расположенной в нижней части диалогового окна. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров приняты миллиметры.

При нажатии кнопки 

появляется выпадающее меню (см. п. 9.5.1). Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

При нажатии кнопки 

программа в соответствии с требованиями норм выполняет проверку несущей способности сечений элементов ферм, примыкающих к рассматриваемому узлу, конструктивных элементов узла (накладок, фланцев, опорных ребер, опорных фланцев и т.д.), а также сварных и болтовых соединений в узле при заданных (или ранее подобранных) значениях его параметров.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла фермы стадии КМ.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 9.5.4-13) выполняется проверка узла фермы аналогично

режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла стадии КМ.

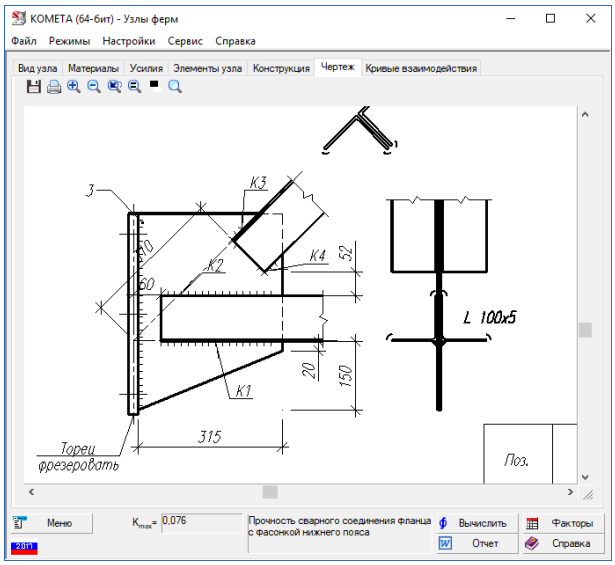


Рис. 9.5.4-13. *Страница* **Чертеж** *режима* **Узлы ферм**

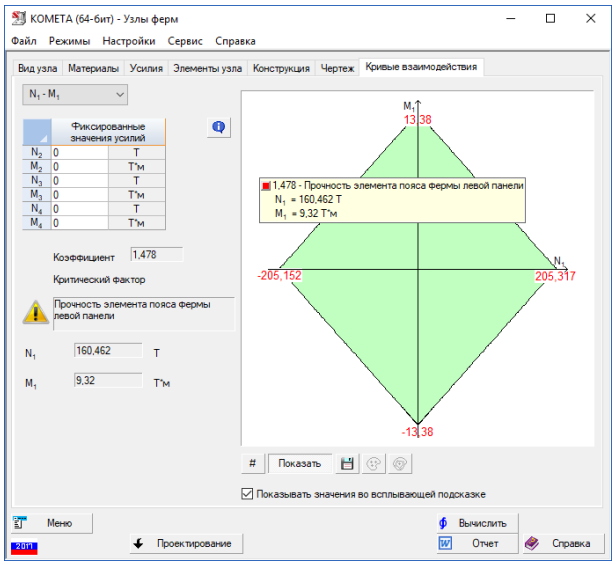


Рис. 9.5.4-14. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Узлы ферм**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.4-14) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла фермы при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающих к узлу элементах фермы. Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла фермы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на построенной области кривой взаимодействия.

Полный перечень проверок и значения соответствующих коэффициентов использования ограничений доступен по нажатию кнопки **Факторы**. В табл. 9.5.4-1 представлен список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов ферм.

Табл. 9.5.4-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов ферм

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Рядовые узлы ферм из спаренных уголков:	**рис. 9.5.4-1**						
Прочность сварного соединения пояса фермы с фасонкой	*а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения стояка с фасонкой	*а, в, г, д, е, з, и, к, л*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения левого раскоса с фасонкой	*а, б, г, е, ж, и, л*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения правого раскоса с фасонкой	*а, б, д, е, ж, к*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Рядовые узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб:	**рис. 9.5.4-2**						
Несущая способность участка стенки пояса на продавливание (вырывание)	*а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к, л*	п. 15.10, 15.11, (92), (94) [4]	п. С.2.2, (С.1), п. С.2.3, (С.2)	п. Л.2.2, (Л.1), п. Л.2.3, (Л.2) п. 14.3.2 (86), (87)		п. Ф.1.2, (Ф.1), п. Ф.1.3, (Ф.2)	пп. М.6, М.7, (М.7), (М.8)
Несущая способность стенки пояса в плоскости узла в месте примыкания стояка	*а, б, в, г, д, е, з, к, л*	п. 15.12, (95) [4]	п. С.2.4, (С.3)	п. Л.2.4, (Л.3) п. 14.3.2 (88)		п. Ф.1.4, (Ф.3)	п. М.8 (М.9)

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Несущая способность стенки пояса в плоскости узла в месте примыкания левого раскоса	*а, г, ж, з, и, к, л*	п. 15.12, (95) [4]	п. С.2.4, (С.3)	п. Л.2.4, (Л.3) п. 14.3.2 (88)		п. Ф.1.4, (Ф.3)	п. М.8 (М.9)
Несущая способность стенки пояса в плоскости узла в месте примыкания правого раскоса	*а, б, г, д, ж, и*	п. 15.12, (95) [4]	п. С.2.4, (С.3)	п. Л.2.4, (Л.3) п. 14.3.2 (88)		п. Ф.1.4, (Ф.3)	п. М.8 (М.9)
Несущая способность стояка в зоне примыкания к поясу	*а, б, в, г, д, е, з, к, л*	п. 15.13, (96), (97) [4]	п. С.2.5, (С.4), (С.5)	п. Л.2.5, (Л.4), (Л.5) п. 14.3.2 (89), (90)		п. Ф.1.5, (Ф.4), (Ф.5)	п.М.9, (М.10), (М.11)
Несущая способность левого раскоса в зоне примыкания к поясу	*а, г, ж, з, и, к, л*	п. 15.13, (96), (97) [4]	п. С.2.5, (С.4), (С.5)	п. Л.2.5, (Л.4), (Л.5) п. 14.3.2 (89), (90)		п. Ф.1.5, (Ф.4), (Ф.5)	п.М.9, (М.10), (М.11)
Несущая способность правого раскоса в зоне примыкания к поясу	*а, б, г, д, ж, и*	п. 15.13, (96), (97) [4]	п. С.2.5, (С.4), (С.5)	п. Л.2.5 (Л.4), (Л.5) п. 14.3.2 (89), (90)		п. Ф.1.5, (Ф.4), (Ф.5)	п.М.9, (М.10), (М.11)
Несущая способность сварных швов, прикрепляющих стояк к поясу	*а, б, в, г, д, е, з, к, л*	п. 15.14, (98), (99) [4]	п. С.2.6, (С.6), (С.7)	п. Л.2.6, (Л.6), (Л.7) п. 14.3.2 (91), (92)		п. Ф.1.6, (Ф.6), (Ф.7)	п. М.10, (М.12), (М.13)
Несущая способность сварных швов, прикрепляющих левый раскос к поясу	*а, г, ж, з, и, к, л*	п. 15.14, (98), (99) [4]	п. С.2.6, (С.6), (С.7)	п. Л.2.6 (Л.6), (Л.7) п. 14.3.2 (91), (92)		п. Ф.1.6, (Ф.6), (Ф.7)	п. М.10, (М.12), (М.13)
Несущая способность сварных швов, прикрепляющих правый раскос к поясу	*а, б, г, д, ж, и*	п. 15.14, (98), (99) [4]	п. С.2.6, (С.6), (С.7)	п. Л.2.6 (Л.6), (Л.7) п. 14.3.2 (91), (92)		п. Ф.1.6, (Ф.6), (Ф.7)	п. М.10, (М.12), (М.13)

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Опорные узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб:	**рис. 9.5.4-3**						
Прочность опорного ребра на местное смятие	*а, б*	п. 5.38	п. 16.12	п. 15.12	п. 1.8	п. 12	п. 7.38
Устойчивость опорного ребра	*а, б*	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17, п. 7.1.3, (7)	п. 1.5.5.13, п. 1.4.1.3, (1.4.3)	п. 9.5.13, п. 8.1.3, (8.3)	п. 9.13
Несущая способность участка стенки пояса на продавливание (вырывание)	*а, б*	п. 15.10, 15.11, (92), (94) [4]	п. С.2.2, (С.1), п. С.2.3, (С.2)	п. Л.2.2, (Л.1), п. Л.2.3, (Л.2) п. 14.3.2 (86), (87)			пп. М.6, М.7, (М.7), (М.8)
Несущая способность стенки пояса в плоскости узла в месте примыкания опорного раскоса	*а, б*	п. 15.12, (95) [4]	п. С.2.4, (С.3)	п. Л.2.4, (Л.3) п. 14.3.2 (88)			п. М.8 (М.9)
Несущая способность опорного раскоса в зоне примыкания к поясу	*а, б*	п. 15.13, (96), (97) [4]	п. С.2.5, (С.4), (С.5)	п. Л.2.5, (Л.4), (Л.5) п. 14.3.2 (89), (90)			п.М.9, (М.10), (М.11)
Прочность сварного соединения пояса с опорным ребром	*а, б*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Несущая способность сварных швов, прикрепляющих опорный раскос к поясу	*а, б*	п. 15.14, (98), (99) [4]	п. С.2.6, (С.6), (С.7)	п. Л.2.6, (Л.6), (Л.7) п. 14.3.2 (91), (92)			п. М.10, (М.12), (М.13)

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Узлы смены сечения пояса по длине в фермах из спаренных уголков:	**рис. 9.5.4-4**						
Прочность сварного соединения пояса фермы с фасонкой	*а, б, в, г*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения стояка с фасонкой	*а, в*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения левого раскоса с фасонкой	*а, б, в, г*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения правого раскоса с фасонкой	*а, б, в, г*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность накладки	*а, б, в, г*	п. 5.1, (5)	п. 8.1.1, (5)	п. 7.1.1, (5)	п. 1.4.1.1, (1.4.1)	п. 8.1.1, (8.1)	п. 7.1, (1)
Прочность сварного соединения накладки с полкой пояса большего поперечного сечения	*а, б, в, г*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения накладки с полкой пояса меньшего поперечного сечения	*а, б, в, г*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Монтажные узлы ферм из спаренных уголков:	**рис. 9.5.4-5**						
Прочность сварного соединения пояса левой панели фермы с фасонкой	*а, б, в, г, д, е, ж, з*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения пояса правой панели фермы с фасонкой	*а, б, в, г, д, е, ж, з*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения стояка левой панели фермы с фасонкой	*а, в, д, ж*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения стояка правой панели фермы с фасонкой	*а, в, д, ж*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п.1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения левого раскоса с фасонкой	*а, б, д, е*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения правого раскоса с фасонкой	*а, б, д, е*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность накладки	*а, б, в, г, д, е, ж, з*	п. 5.1, (5)	п. 8.1.1, (5)	п. 7.1.1, (5)	п.1.4.1.1, (1.4.1)	п. 8.1.1, (8.1)	п. 7.1, (1)
Прочность сварного соединения накладки с полкой пояса левой панели фермы	*а, б, в, г, д, е, ж, з*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)

Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность сварного соединения накладки с полкой пояса правой панели фермы	*а, б, в, г, д, е, ж, з*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Опорные узлы ферм из спаренных уголков:	**рис. 9.5.4-6**						
Прочность болтов на срез и смятие	*д*	п. 11.7*, (127), (128), п. 11.8, (130)	п. 15.2.9, (165), (166), п. 15.2.10, (168)	п. 14.2.9, (186), (187), п. 14.2.10, (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.13), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.12), (16.13), п. 16.2.10, (16.15)	п. 13.7, (136), (137), п. 13.8, (139)
Прочность болтов на растяжение	*а, б, д*	п. 11.7*, (129), п. 11.8, (130)	п. 15.2.9, (167), п. 15.2.10, (168)	п. 14.2.9, (188), п. 14.2.10, (189)	п. 1.12.2.9, (1.12.14), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 16.2.9, (16.14), п. 16.2.10, (16.15)	п. 13.7, (138), п. 13.8, (139)
Прочность фланца на изгиб	*а, б*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п. 1.5.2.1, (1.5.1)	п. 9.2.1, (9.1)	п. 7.12, (24)
Прочность опорного ребра на местное смятие	*д*	п. 5.38	п. 16.12	п. 15.12	п. 1.8	п. 12	п. 7.38
Устойчивость опорного ребра	*д*	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17, п. 7.1.3, (7)	п. 1.5.5.13, п. 1.4.1.3, (1.4.3)	п. 9.5.13, п. 8.1.3, (8.3)	п. 9.13
Местная устойчивость свесов полок опорного ребра	*д*	п. 7.23*, табл. 29*	п. 8.3.7, (31)	п. 7.3.8, (37)	п. 1.4.3.7, (1.4.27)	п. 8.3.7, (8.27)	п. 9.23
Прочность сварного соединения пояса с опорной фасонкой	*а, б, в, г, д, е*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность сварного соединения опорного раскоса с опорной фасонкой	*б, в, г, д, е*	п. 11.2, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)

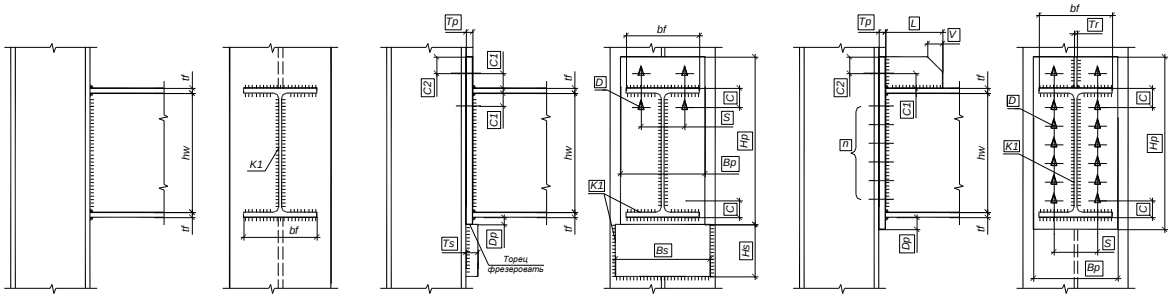
Название фактора	Тип узла	Ссылка на СНиП II-23-81* и Пособие [4]	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330 и СП 294.1325800	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность сварного соединения опорного ребра с опорной фасонкой	*г, д, е*	п. 11.2, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123), п. 11.5, (126)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132), п. 13.5, (135)
Прочность сварного соединения фланца с опорной фасонкой	*а, б, в*	п. 11.2, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123), п. 11.5, (126)	п. 15.1.16, (155), (156),п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132), п. 13.5, (135)
Прочность опорной плиты	*г, е*	п. 5.12, (28)	п. 9.6.2 (86-88)	п. 8.6.2 (101-103)	п. 1.7.2, (1.7.1), прил. Н, (Н.1), (Н.2), табл. Н.2	п. 11.2, (11.1), прил. М, п. М.2, (М.1), (М.2)	п. 7.12, (24)
Примечания: см. *Примечания* табл. 9.5.1-1.							

9.5.5 Сопряжение ригеля с колонной

Режим **Сопряжение ригеля с колонной** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений узлов сопряжений ригелей с колонной. По условиям восприятия действующих на узел усилий и по возможности взаимного поворота ригеля относительно колонны рассматриваемые узлы подразделяются на следующие типы:

- жесткие, обеспечивающие практическую неподвижность ригеля относительно колонны (рис. 9.5.5-1);
- шарнирные, которые практически не препятствуют повороту ригеля относительно колонны (рис. 9.5.5-2).

а *б* *в*



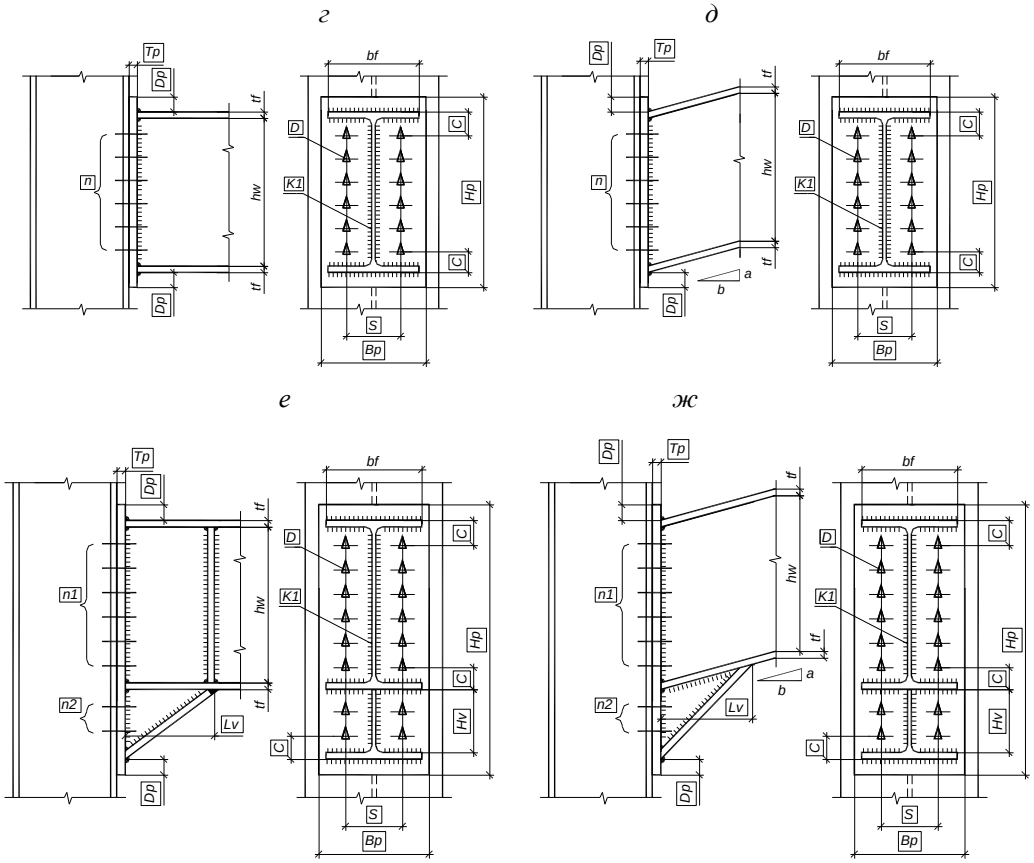


Рис. 9.5.5-1. Типы конструктивных решений жесткого сопряжения ригеля с колонной

На рис. 9.5.5-1 приведены реализованные в программе типы конструктивных решений жесткого сопряжения ригеля с колонной: на сварке (см. рис. 9.5.5-1, *а*) и на высокопрочных болтах (см. рис. 9.5.5-1, *б…ж*). Типы конструктивных решений сопряжений балок с колоннами, которые решены с использованием опорного фланца без опорного столика (см. рис. 9.5.5-1, *в…ж*), чаще всего проектируют как фрикционные соединения на высокопрочных болтах. Для случая, когда в узле сопряжения действует значительный изгибающий момент, величина которого превышает несущую способность ригеля, в программе предусмотрены типы конструктивных решений с вутами (см. рис. 9.5.5-1, *е, ж*).

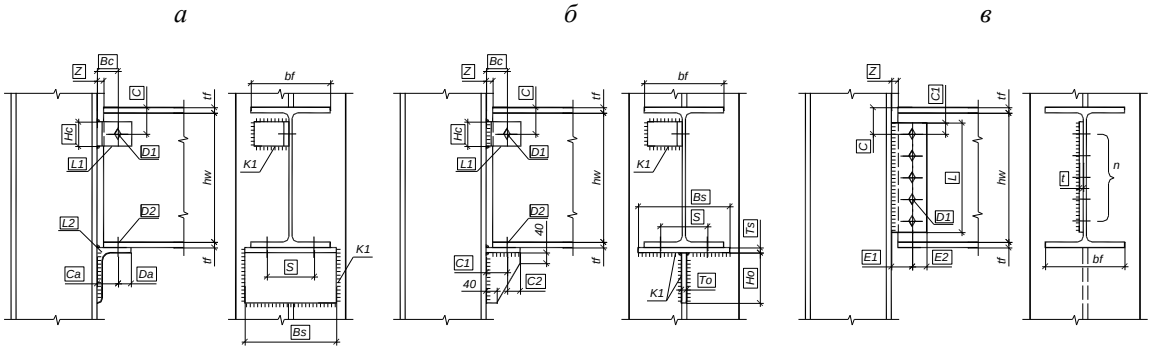


Рис. 9.5.5-2. Типы конструктивных решений шарнирного сопряжения ригеля с колонной

Шарнирные сопряжения ригелей с колоннами, реализованные в программе, представлены на рис. 9.5.5-2, и конструктивно оформлены с использованием опорного столика (рис. 9.5.5-2, *а* и 9.5.5-2, *б*), а также с использованием накладки на стенке ригеля (рис. 9.5.5-2, *в*).

При работе этого режима выполняются следующие нормативные проверки:

- прочности фланцев, подкрепляющих ребер и вутов;
- прочности болтовых и сварных соединений, присутствующих в узле;
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

Главное окно режима **Сопряжение ригеля с колонной** включает следующие страницы: **Конфигурация** (рис. 9.5.5-3), **Усилия** (рис. 9.5.5-6), **Ригель 1** (рис. 9.5.5-7), **Ригель 2** (рис. 9.5.5-8), **Сварка (Ригель 1)**, **Сварка (Ригель 2)**, **Чертеж** и **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.5-9).

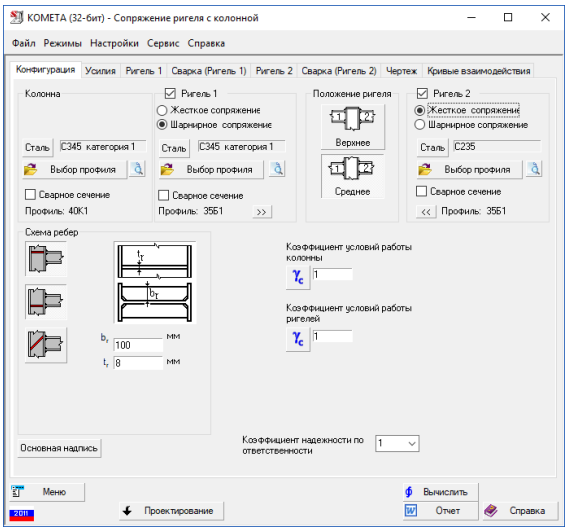


Рис. 9.5.5-3. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной**

Работа в режиме **Сопряжение ригеля с колонной** начинается с определения конфигурации сопряжения на странице **Конфигурация** (рис. 9.5.5-3). При сопряжении ригеля с колонной слева необходимо включить флажок (☑) возле маркера **Ригель 1**, при сопряжении ригеля с колонной справа необходимо включить флажок маркера **Ригель 2**. Для случая, когда в сопряжении присутствуют оба ригеля (слева и справа), оба маркера (**Ригель 1** и **Ригель 2**) должны быть отмечены флажками. Группа кнопок **Положение ригеля** предназначены для определения положения ригелей в сопряжении с колонной. Верхнее положение ригелей соответствует узлу сопряжения с оголовком колонны балок покрытия, а среднее положение – узлу сопряжения с колонной балок перекрытия.

Группа элементов управления **Колонна** предназначена для описания типа поперечного сечения колонны и стали, которая для нее используется. Выбор стали для колонны выполняется нажатием кнопки **Сталь**. Если тип поперечного сечения колонны является сварным двутавровым, необходимо отметить флажком маркер **Сварное сечение** и нажать кнопку **Выбор профиля**. При этом в появившемся диалоговом окне **Размеры сечения** (рис. 9.5.5-4) необходимо определить размеры поперечного сечения колонны: высоту h_w и толщину t_w стенки колонны, ширину b_f и толщину t_f полки колонны и нажать кнопку **ОК**. По умолчанию единицами измерений размеров поперечного сечения колонны приняты миллиметры.

Толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающих списков, в которых содержится набор сортаментных размеров листовой стали. В случае, если тип поперечного сечения колонны является прокатным, необходимо нажать кнопку **Выбор профиля** (при этом маркер **Сварное сечение** не должен быть отмечен флажком). В древовидном списке нового диалогового окна **Выбор профиля** (рис. 9.5.5-5) необходимо выбрать сортамент и номер профиля в данном сортаменте для сечения колонны, после чего нажать кнопку **ОК**.

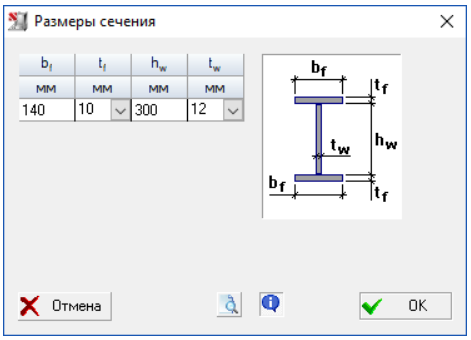


Рис. 9.5.5-4. *Диалоговое окно* **Размеры сечения**

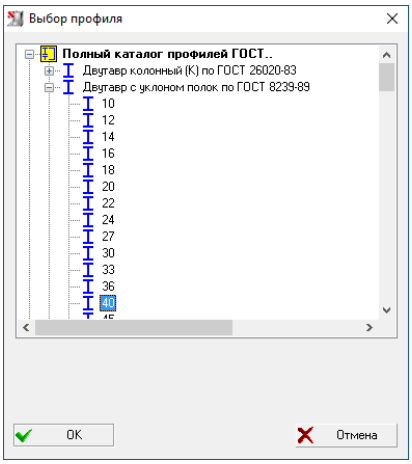
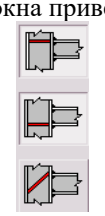


Рис. 9.5.5-5. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

Обеспечена возможность графического контроля заданного поперечного сечения колонны в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

Аналогично определяется сталь и тип поперечного сечения для ригелей узла сопряжения, для чего предусмотрены элементы управления, объединенные в соответствующие группы (**Ригель 1** и **Ригель 2**). Кроме того, для каждого из ригелей сопряжения необходимо назначить статический тип сопряжения, что реализуется выбором соответствующих селективных кнопок: **Жесткое сопряжение** или **Шарнирное сопряжение**. Нажатие кнопки >> в группе **Ригель 1** приводит к тому, что тип и размеры поперечного сечения, выбранные для ригеля 1 (ригеля, расположенного слева), автоматически присваиваются ригелю 2 (ригелю, расположенному справа). При нажатии кнопки << в группе **Ригель 2** тип и размеры поперечного сечения, определенные для ригеля 2, автоматически присваиваются ригелю 1.

Предусмотрена возможность ввести значения коэффициентов условий работы колонны и ригелей в сопряжении в соответствующих одноименных окнах ввода. Выбор значений этих коэффициентов можно сделать и в специальном диалоговом окне **Коэффициенты условий работы**, для чего необходимо нажать на расположенную рядом кнопку. Детальное описание функциональных возможностей этого диалогового окна приведено в п. 9.4.5.



При действии значительных изгибающих моментов в узлах сопряжений ригелей с колонной часто возникает необходимость в дополнительном подкреплении стенки колонны поперечными ребрами жесткости. Схема расположения поперечных ребер жесткости в стенке колонны задается нажатием кнопок **Схема ребер**, которые отвечают за расположение ребер в уровне верхней полки балки, в уровне нижней полки балки, а также за косое расположение ребра. Размеры ребер жесткости b_r и t_r необходимо задать в соответствующих полях ввода.

В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователем задается соответствующий коэффициент, на значение которого будут умножены все расчетные значения внутренних усилий, действующих в сечениях элементов (колонн и ригелей), сопрягаемых в рассматриваемом узле, для всех расчетных комбинаций нагружений. В том случае, когда значения внутренних усилий были получены пользователем в результате статического анализа уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (например, когда расчетные значения нагрузок задавались умноженными на данный коэффициент), тогда в этом выпадающем списке необходимо выбрать значение коэффициента равное единице.

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения соединения ригеля с колонной. Принципы работы в диалоговом

окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

На страницах **Сварка (Ригель 1), Сварка (Ригель 2)** задаются параметры сварных соединений для узла. В группе **Параметры соединения** в специальных выпадающих списках необходимо назначить тип и вид сварки, а также определить положение шва. Реализованы виды сварки, соответствующие табл. 34* СНиП II-23-81* (табл. 36 СП 53-102-2004, табл. 38 СП 16.13330, табл. 1.12.2 ДБН В.2.6-163:2010 или табл. 16.2 ДБН В.2.6-198:2014), а именно: ручная, полуавтоматическая проволокой сплошного сечения при диаметре сварочной проволоки менее 1.4 мм, автоматическая и полуавтоматическая при диаметре сварочной проволоки 1.4…2.0 мм, автоматическая при диаметре сварочной проволоки 3…5 мм и полуавтоматическая порошковой проволокой. При этом положение сварных швов может быть в лодочку, нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное. В группе **Свойства материалов для сварки** отображаются значения расчетного сопротивления угловых швов на условный срез по металлу шва R_{wf} и нормативного сопротивления металла шва R_{wun}. Определить эти значения можно в диалоговом окне **Материалы для сварки**, которое становится доступным после нажатия кнопки . Принципы работы в режиме **Материалы для сварки** описаны в п. 9.4.4.

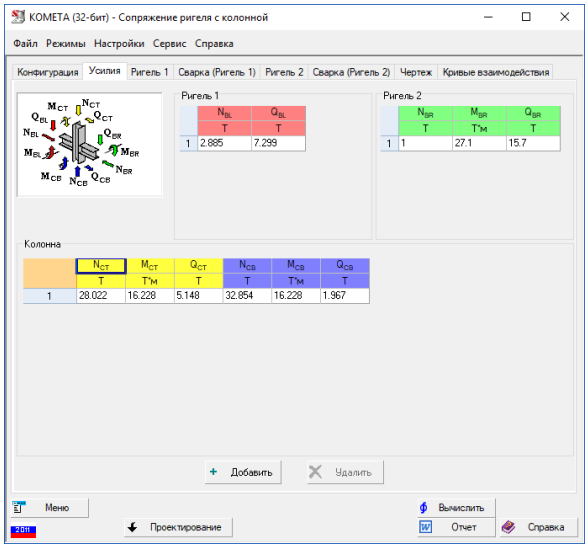


Рис. 9.5.5-6. *Страница* **Усилия** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной**

На странице **Усилия** (рис. 9.5.5-6) задаются внутренние усилия, действующие в узле сопряжения ригеля с колонной. В общем случае в каждом сопряжении со стороны ригеля на узел действуют продольная сила N, изгибающий момент M и соответствующая ему поперечная сила Q. Заметим, что в шарнирных сопряжениях ригеля с колонной изгибающий момент M должен равняться нулю. Кроме того, в расчетных сечениях колонны действуют продольное усилие N, изгибающие моменты в обеих плоскостях M_x, M_y и соответствующие им поперечные усилия Q_y и Q_x. Усилия, действующие в расчетных сечениях колонны, задаются для поперечных сечений, расположенных выше и ниже проектируемого узла.

При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей расчетной комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. Правило знаков усилий принимается по рисунку, приведенному в левом верхнем углу страницы, на котором указано их положительное направление.

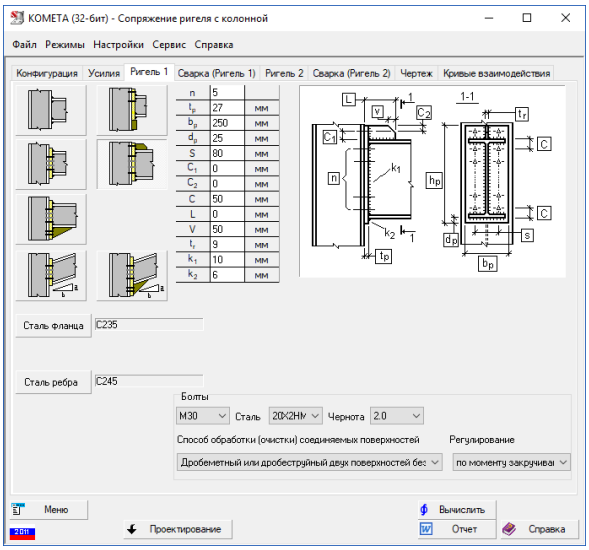


Рис. 9.5.5-7. *Страница* **Ригель 1** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной** (жесткое сопряжение ригеля 1 с колонной)

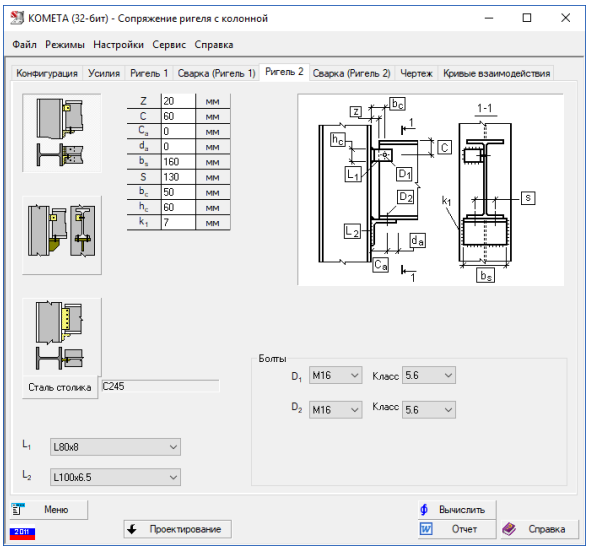


Рис. 9.5.5-8. *Страница* **Ригель 2** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной** (шарнирное сопряжение ригеля 2 с колонной)

На странице **Ригель 1** (рис. 9.5.5-7) размещена группа кнопок для выбора конструктивного решения сопряжения ригеля с колонной (ригеля, расположенного слева от колонны). Если для ригеля 1 на странице **Конфигурация** было задекларировано жесткое сопряжение, то на странице **Ригель 1** будут отображены конструктивные решения жесткого сопряжения ригеля с колонной. Заметим, что жесткие сопряжения несущих элементов выполняются с использованием фланцевых соединений на высокопрочных болтах или с использованием сварного соединения на угловых швах. Для фланцевых сопряжений ригеля с колонной предусмотрена возможность задать класс стали фланцев нажатием одноименной кнопки.

Для некоторых типов сопряжений ригеля с колонной (рис. 9.5.5-1, *д, ж*) в программе предусмотрена возможность задать уклон ригеля при помощи значений безразмерных параметров a и b (см. рис. 9.5.5-1, *д, ж*) в группе **Наклон** (см. рис. 9.5.5-9).

На странице **Ригель 2** (рис. 9.5.5-8) размещена группа кнопок для выбора конструктивного решения сопряжения с колонной ригеля 2 (ригеля, расположенного справа от колонны). Если для ригеля 2 на странице **Конфигурация** было задекларировано шарнирное сопряжение, то на странице **Ригель 2** будут отображены только конструктивные решения шарнирного сопряжения ригеля с колонной. Шарнирные сопряжения элементов выполняются с использованием болтов обычной прочности (для типов сопряжений с опорным столиком, рис. 9.5.5-2, *а, б*) и высокопрочных болтов (для типа сопряжения без опорного столика, рис. 9.5.5-2, *в*).

Для фиксации положения ригеля относительно колонны, а также в качестве опорного столика в некоторых типах шарнирных сопряжений (рис. 9.5.5-2, *а, б*) используются равнополочные уголки по ГОСТ 8509-86. Если пользователю известны размеры этих уголков, их можно задать в специальных выпадающих списках L_1 и L_2.

Для шарнирного сопряжения ригеля с колонной на накладке предусмотрена возможность задать класс стали накладки нажатием одноименной кнопки.

При использовании высокопрочных болтов в специальных выпадающих списках, объединенных в группу **Болты** (см. рис. 9.5.5-7), необходимо задать марку стали болтов, их черноту (разницу между диаметром отверстия и диаметром болта), способ регулирования натяжения болтов, а также способ обработки (очистки) поверхностей элементов в соединении. Если известен диаметр высокопрочных болтов, используемых в сопряжении, в выпадающем списке необходимо задать их марку (диаметр). При использовании в сопряжении болтов обычной прочности в выпадающих списках необходимо задать класс

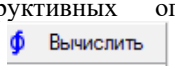
прочности болтов, а также в случае, если диаметр болтов известен, задать их марку (диаметр).

Необходимо заметить, что автоматизированный расчет шарнирного сопряжения ригеля с колонной на накладке предусматривает, что размеры поперечного сечения накладки принимаются максимально приближенными к размерам поперечного сечения ригеля (речь идет в частности, о высоте накладки на стенке ригеля). В том случае, когда высота накладки будет задана пользователем меньшей, чем расчетная высота стенки ригеля, в проверочном расчете такого узла необходимо учитывать концентрации напряжений. Вследствие отсутствия каких-либо нормативных методик выполнения такого уточняющего расчета, данная возможность в программе не реализована. Таким образом, если пользователем будет задана высота накладки, не соответствующая расчетной высоте стенки ригеля, программа выдаст сообщение об ошибке.

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной необходимо задать все расчетные параметры узла. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры болтов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Ригель 1** или/и **Ригель 2**. По умолчанию единицами измерения линейных размеров проектного решения узла приняты миллиметры.

При нажатии кнопки

появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор проектного решения узла сопряжения ригеля с колонной совершался на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 8.2). При нажатии кнопки 

программа выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к узлу (колонны и ригелей), конструктивных элементов узла (фланцев, накладок, плит опорных столиков и т.д.) и их соединений (болтовых и сварных) при заданных (или ранее подобранных) значениях всех параметров узла в соответствии с требованиями норм.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной стадии КМ.

Полный перечень проверок и значения соответствующих коэффициентов использования ограничений доступен по нажатию кнопки **Факторы**. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов жестких и шарнирных сопряжений ригелей с колонной представлен в табл. 9.5.5-1, 9.5.5-2.

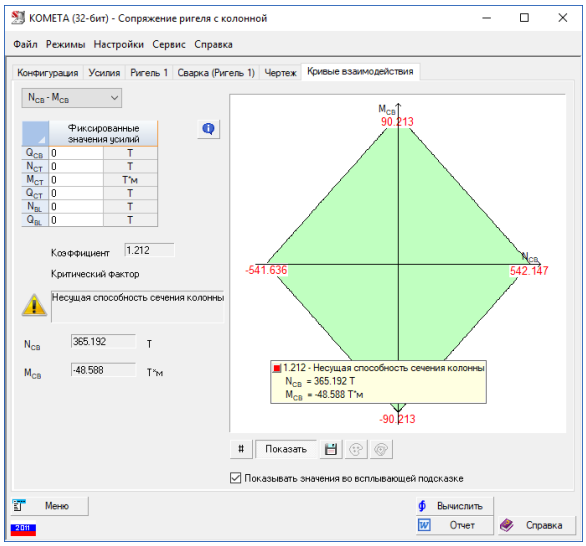


Рис. 9.5.5-9. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Узлы Сопряжение ригеля с колонной**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 9.5.5-9) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающих к узлу элементах (в колонне и ригелях). Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла сопряжения ригеля с колонной. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на построенной области кривой взаимодействия.

При переходе на страницу **Чертеж** выполняется проверка узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

Функциональные возможности кнопки **Отчет**, а также элементов управления, расположенных на странице **Чертеж**, аналогичны тем, которые предусмотрены в режиме **Жесткие базы колонн** (см. п. 9.5.1).

Табл. 9.5.5-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений жестких сопряжений ригеля с колонной

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность опорного ребра из условия смятия торцевой поверхности	рис. 9.5.5-1, *б*	п. 5.38	п. 16.12	п. 15.12	п. 1.8	п. 12	п. 7.38
Прочность опорного ребра из условия общей устойчивости	рис. 9.5.5-1, *б*	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17, п. 7.1.3, (7)	п. 1.5.5.13, п. 1.4.1.3, (1.4.3)	п. 9.5.13, п. 8.1.3, (8.3)	п. 9.13
Прочность опорного ребра из условия	рис. 9.5.5-1, *б*	п. 7.12	п. 9.5.13	п. 8.5.17, п. 7.1.3, (7)	п. 1.5.5.13, п. 1.4.1.3, (1.4.3)	п. 9.5.13, п. 8.1.3, (8.3)	п. 9.13

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
местной устойчивости свеса полки							
Прочность фланца при изгибе с учетом ослабления отверстиями	рис. 9.5.5-1, *б-ж*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п. 1.5.2.1, (1.5.1)	п. 9.2.1, (9.1)	п. 7.12, (24)
Прочность сварного соединения ригеля с полкой колонны	рис. 9.5.5-1, *а*	п. 11.2*, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132)
Прочность сварного соединения ригеля с опорным ребром (фланцем)	рис. 9.5.5-1, *б-ж*	п. 11.2*, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132)
Прочность болтового соединения опорного ребра (фланца) ригеля с полкой колонны	рис. 9.5.5-1, *б-ж*	п. 11.13*, (131)*, (132)*	п. 15.3.3, (170), п.15.3.4, (171)	п. 14.3.3, (191), п. 14.3.4, (192)	п. 1.12.3.3, (1.12.17), п. 1.12.3.4, (1.12.18)	п. 16.3.3, (16.17), п. 16.3.4, (16.18)	п. 13.13, (140), (141)
Прочность крепления опорного столика к полке колонны	рис. 9.5.5-1, *б*	п. 11.2*, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п.14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)
Прочность стенки колонны по нормальным напряжениям	рис. 9.5.5-1, *а-ж*	п. 5.25*, (50)	п. 10.1.1, (91)	п. 9.1.1, (106)	п. 1.6.1.1, (1.6.2)	п. 10.1.1, (10.2)	п. 7.25, (48)
Прочность стенки колонны по касательным напряжениям	рис. 9.5.5-1, *а-ж*	п. 5.12, (29)	п. 9.2.1, (36)	п. 8.2.1, (42)	п. 1.5.2.1, (1.5.2)	п. 9.2.1, (9.2)	п. 7.12, (25)
Прочность стенки колонны по местным напряжениям	рис. 9.5.5-1, *а-ж*	п. 5.13, (31)	п. 9.2.2, (40), (41)	п. 8.2.1, (46), (47)	п. 1.5.2.2, (1.5.6), (1.5.7)	п. 9.2.2, (9.6), (9.7)	п. 7.13, (27)

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность стенки колонны по приведенным напряжениям	рис. 9.5.5-1, *а-ж*	п. 5.14*, (33)	п. 9.2.1, (38)	п. 8.2.1, (44)	п. 1.5.2.1, (1.5.4)	п. 9.2.1, (9.4)	п. 7.14, (29)
Местная устойчивость стенки колонны	рис. 9.5.5-1, *а-ж*	п. 7.4, (74), 7.6*, (79), п. 7.2* (72), (73)	п. 9.5.2, (71), (72), п. 9.5.3, (73)	п. 9.4.2, (125), (126), п. 9.4.3, (131)	п. 1.6.4.2, (1.6.20), (1.6.21), (1.6.22)	п. 10.4.2, (10.20), (10.21), (10.22)	пп. 9.5, (81), 9.7, (86), пп. 9.2, 9.3 (79), (80)
Примечания: см. *Примечания* табл. 9.5.1-1.							

Табл. 9.5.5-2. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений шарнирных сопряжений ригеля с колонной

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность плиты опорного столика из условия смятия торцевой поверхности	рис. 9.5.5-2, *а, б*	п. 5.38	п. 16.12	п. 15.12	п. 1.8	п. 12	п. 7.38
Прочность плиты опорного столика при изгибе	рис. 9.5.5-2, *а, б*	п. 5.12, (28)	п. 9.2.1, (35)	п. 8.2.1, (41)	п. 1.5.2.1, (1.5.2)	п. 9.2.1, (9.2)	п. 7.12, (24)
Прочность накладки с учетом ослабления отверстиями на срез	рис. 9.5.5-2, *в*	п. 5.12, (29)	п. 9.2.1, (36), (39)	п. 8.2.1, (42), (45)	п. 1.5.2.1, (1.5.2), (1.5.5)	п. 9.2.1, (9.2), (9.5)	п. 7.12, (25)
Прочность болтового соединения ригеля с полкой колонны через накладку	рис. 9.5.5-2, *в*	п. 11.13*, (131)*, (132)*	п. 15.3.3, (170), п. 15.3.4, (171)	п. 14.3.3, (191), п. 14.3.4, (192)	п. 1.12.3.3, (1.12.17), п. 1.12.3.4, (1.12.18)	п. 16.3.3, (16.17), п. 16.3.4, (16.18)	п. 13.13, (140), (141)
Прочность крепления опорного столика к полке колонны	рис. 9.5.5-2, *а, б*	п. 11.2*, (120), (121)	п. 15.1.16, (155), (156)	п. 14.1.16, (176), (177)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3)	п. 13.2, (129), (130)

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на СНиП II-23-81*	Ссылка на СП 53-102-2004	Ссылка на СП 16.13330	Ссылка на ДБН В.2.6-163:2010	Ссылка на ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Прочность крепления накладки к полке колонны	рис. 9.5.5-2, *в*	п. 11.2*, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123)	п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183)	п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9)	п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9)	п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132)
Примечания: см. *Примечания* табл. 9.5.1-1.							

9.5.6 Типовые узлы

Режим **Типовые узлы** предназначен для проектирования типовых узлов сопряжений балок в одном уровне, выполненных на болтах или с помощью опорного уголка. В программе реализовано два типа сопряжения балок в одном уровне при использовании накладок, которые крепятся к ребру жесткости главной балки и к стенке второстепенной балки на болтах с одной или с двух сторон. Кроме того, реализовано шесть типов сопряжений балок с использованием опорного уголка, который с помощью сварных угловых швов крепится к верхней полке главной балки и к торцу стенки второстепенной балки. В качестве типа поперечного сечения для сопрягаемых балок в режиме **Типовые узлы** использованы двутавры нормальные (Б) по ГОСТ 26020-83, двутавры широкополочные по ГОСТ 26020-83 [14] и швеллеры с уклоном полок по ГОСТ 8240-89.

Конструктивные решения узлов сопряжения балок приняты в соответствии с ДС27-4-2-90 “Альбом типовых узлов соединений металлоконструкций несущего каркаса общественных зданий” (часть I; 2-я редакция), разработанным управлением «МОСПРОЕКТ-2» при Главмосархитектуре.

Главное окно режима **Типовые узлы** содержит всего две страницы: **Конструкция** (рис. 9.5.6-1) и **Чертеж** (рис. 9.5.6-2).

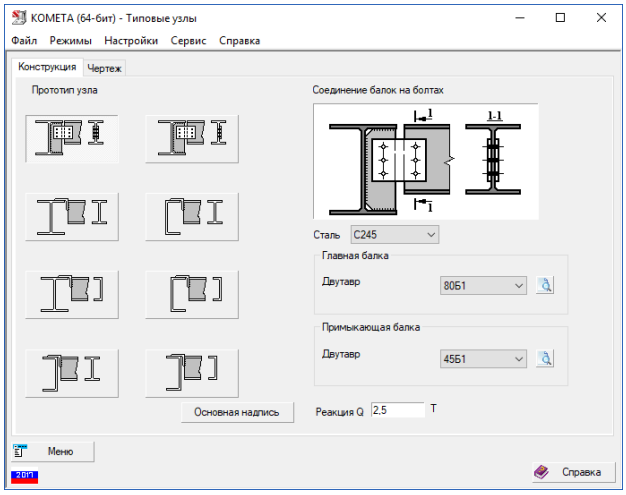


Рис. 9.5.6-1. *Страница* **Конструкция** *режима* **Типовые узлы**

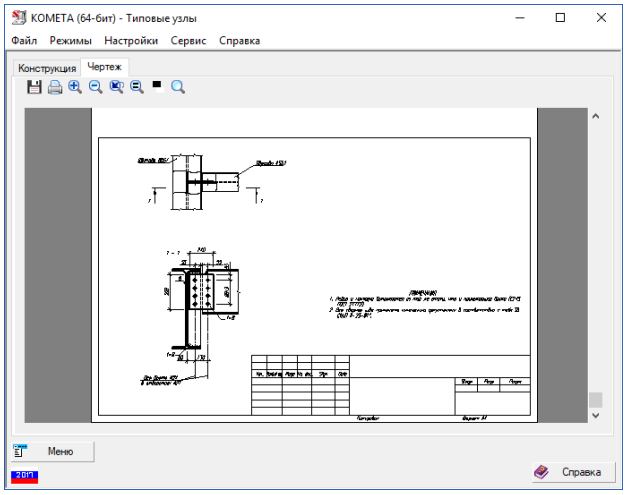


Рис. 9.5.6-2. *Страница* **Чертеж** *режима* **Типовые узлы**

На странице **Конструкция** размещена группа кнопок **Прототип узла**, предназначенная для выбора конструктивного решения узла сопряжения балок в одном уровне. На этой же странице расположено информационное окно, в котором отображается эскиз конструктивного решения узла. В выпадающем списке **Сталь** необходимо задать сталь, которая будет использоваться для элементов сопряжения.

В группах **Главная балка** и **Примыкающая балка** задаются типы поперечных сечений для главной балки и примыкающей к ней балки путем выбора номера профиля из предлагаемых в выпадающих списках. Обеспечена возможность графического контроля заданных поперечных сечений сопрягаемых балок в специальных информационных окнах, которые становятся доступными после нажатия кнопок **Предварительный просмотр** ( ) в соответствующих группах (**Главная балка** или **Примыкающая балка**).

В поле **Реакция** вводится числовое значение опорной реакции, которое передается с примыкающей балки на главную. По умолчанию единицами измерений опорной реакции приняты тонны.

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к одноименному диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения сопряжений балок в одном уровне. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 9.5.6-2) выполняется проверка несущей способности сопряжения балок в одном уровне и, в случае, если она удовлетворяется, происходит генерация чертежа узлового решения в специальное информационное окно.

9.6 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе КОМЕТА

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по					
	СНиП II-23-81	**СП 53-102-2004**	**СП 16.13330**	**ДБН В.2.6-163:2010**	**ДБН В.2.6-198:2014**	**Ссылка на ШНК 2.03.05-13**
Стали	Табл. 50*	пп. 6.1,6.2, прил. В, табл. В1, В2, В5-В8	пп. 5.1,5.2, прил. В, табл. В1, В2, В5-В8			табл. Е.3 прил. Е
	Табл. 51*					табл. Е.4 прил. Е
	Табл. 51, *б*					
	Проект СНиП 53-01-96					
Сортамент металлопроката	ГОСТ 26020-83; ГОСТ 8239-89	ГОСТ 26020; ГОСТ 8239	ГОСТ 26020; ГОСТ 8239			ГОСТ 26020-83; ГОСТ 8239-89
	ГОСТ 8240-89	ГОСТ 8240	ГОСТ 8240			ГОСТ 8240-89
	ГОСТ 8509-93; ГОСТ 8510-86*	ГОСТ 8509; ГОСТ 8510	ГОСТ 8509; ГОСТ 8510			ГОСТ 8509-93; ГОСТ 8510-86*
Сортамент листовой стали						
Материал для сварки						табл. D.5 прил. D

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по					
	СНиП II-23-81	СП 53-102-2004	СП 16.13330	ДБН В.2.6-163:2010	ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Болты	Табл. 57*	п. 6.5, прил. Г, табл. Г3, Г6, Г6, Г8, Г9	п. 5.5, прил. Г, табл. Г3, Г6, Г6, Г8, Г9			табл. Е.11 прил. Е
	ГОСТ 1759.4-87					табл. Е.12 прил. Е
Коэффициенты условий работы	Табл. 6*	п. 5.3.2	п. 4.3.2			табл. F.1 прил. F
Высокопрочные болты						табл. Е.11 прил. Е
Фундаментные болты						табл. Е.14 прил. Е
Нормали для стыковки элементов						
Риски						
Класс бетона	табл. 12, 13 СНиП 2.03.01-84*					
Марка бетона	табл. 11, 13 СНиП II-21-75					
Жесткие базы колонн	п. 5.12, (28), (29) п. 5.14*, (33), п. 11.2*, (120), (121), п. 11.4, (33), п. 11.5, (120)-(123), (126), п. 11.7*, (129), п. 11.8, (130)	п. 9.2.1, (35), (36), (38), п. 15.2.9, (167), п. 15.1.10, (168), п. 15.1.15, (38), п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162)	п. 8.2.1, (41), (42), (44), п. 8.6.2, (101)-(104), п. 14.1.15, (44), п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183), п. 14.2.9, (186), (188)	п. 1.5.2.1, (1.5.1), (1.5.2), (1.5.4), п. 1.7.2, (1.7.1), прил. Н, (Н.1), (Н.2), табл. Н.2, п. 1.12.1.15, (1.5.4), п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9), п. 1.12.2.9, (1.12.14), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 9.2.1, (9.1), (9.2), (9.4), п. 11.2, (11.1), прил. М, (М.1), (М.2), табл. М.2, п. 16.1.15, (9.4), п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9), п. 16.2.9, (16.12-16.14), п. 16.2.10, (16.15)	п. 7.12, (24), (25) п. 7.14, (29), п. 13.2, (129), (130), п. 13.4, п. 13.5, (129)-(132), (135), п. 13.7, (138), п. 13.8, (139)

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по					
	СНиП II-23-81	СП 53-102-2004	СП 16.13330	ДБН В.2.6-163:2010	ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Шарнирные базы колонн	п. 5.12, (28), п. 5.14*, (33), п. 11.2*, (120)-(121), п. 11.4, (33), п. 11.5, (120)-(123), (126), п. 11.7*, (127)-(128), п. 11.8, (130)	п. 9.2.1, (35), (38), п. 15.1.15, (38), п. 15.1.16, (155), (156) п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162), п. 15.2.9, (167), п. 15.2.10, (168)	п. 8.2.1, (44) п. 8.6.2, (101)-(104) п. 14.1.15, (44), п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183), п. 14.2.9, (186), (187), п. 14.2.10, (189)	п. 1.5.2.1, (1.5.4), п. 1.7.2, (1.7.1), прил. Н, (Н.1), (Н.2), табл. Н.2, п. 1.12.1.15, (1.5.4), п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9), п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.13), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 9.2.1, (9.4), п. 11.2, (11.1), прил. М, (М.1), (М.2), табл. М.2, п. 16.1.15, (9.4), п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9), п. 16.2.9, (16.12), (16.13), п. 16.2.10, (16.15)	п. 7.12, (24), п. 7.14, (29), п. 13.2, (129)-(130), п. 13.4, п. 13.5, (129)-(132), (135), п. 13.7, (136)-(137), п. 13.8, (139)
Стыки балок	п. 5.1, (5), п. 5.14*, (33), п. 5.18*, (41), п. 5.25*, (50), п. 11.2*, (120)-(123), п. 11.7*, (127), (128)	п. 8.11, (5), п. 9.2.1 (35), (36), (38), (39), п. 10.1.1, (91), п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162), п. 15.2.9, (165), (166)	п. 7.1.1, (5), п. 8.2.1, (41), (42), (44), (45), п. 9.1.1, (106), п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183), п. 14.2.9, (186), (187)	п. 1.4.1.1, (1.4.1), п. 1.5.2.1, (1.5.1), (1.5.2), (1.5.4), (1.5.5), п. 1.6.1.1, (1.6.2), п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9) п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.13)	п. 8.1.1, (8.1), п. 9.2.1, (9.1), (9.2), (9.4), (9.5), п. 10.1.1, (10.2), п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9) п. 16.2.9, (16.12), (16.13)	п. 7.1, (1), п. 7.14, (29), п. 7.18, (39), п. 7.25, (48), п. 13.2, (129)-(132), п. 13.7, (136), (137)

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по					
	СНиП II-23-81	СП 53-102-2004	СП 16.13330	ДБН В.2.6-163:2010	ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Узлы ферм	п. 5.1, (5), п. 5.3, (7), п. 5.12, (28), п. 7.23*, табл. 29*, п. 11.2, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123), п. 11.5, (126), п. 11.7*, (127), (128), п. 11.8, (130)	п. 8.1.1, (5), п. 8.3.7, (31), п. 9.2.1, (35), п. 9.5.13, п. 9.6.2 (86)-(88), п. 15.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162), п. 15.2.9, (165), (166), п. 15.2.10, (168) п. С.2.2, (С.1), п. С.2.3, (С.2), п. С.2.4, (С.3), п. С.2.5, (С.4), (С.5), п. С.2.6, (С.6), (С.7)	п. 7.1.1, (5), п. 7.3.8, (37), п. 8.2.1, (41), п. 8.6.2 (101)-(103), п. 8.5.17, п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183), п. 14.2.9, (186), (187), (188), п. 14.2.10, (189), п. Л.2.2, (Л.1), п. Л.2.3, (Л.2), п. Л.2.4, (Л.3), п. Л.2.5, (Л.4), (Л.5), п. Л.2.6, (Л.6), (Л.7)	п. 1.4.1.1, (1.4.1), п. 1.5.2.1, (1.5.1), п. 1.5.5.13, п. 1.7.2, (1.7.1), прил. Н, (Н.1), (Н.2), табл. Н.2, п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9), п. 1.12.2.9, (1.12.12), (1.12.13), (1.12.14), п. 1.12.2.10, (1.12.15)	п. 8.1.1, (8.1), п. 8.1.3, (8.3), п.8.3.7, (8.27), п. 9.2.1, (9.1), п. 9.5.13, п. 11.2, (11.1), прил. М, п.М.2, (М.1), (М.2), прил.Ф, п.Ф.1.2, (Ф.1), п.Ф.1.3, (Ф.2), п.Ф.1.4, (Ф.3), п.Ф.1.5, (Ф.4), (Ф.5), п.Ф.1.6, (Ф.6), (Ф.7), п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9), п. 16.2.9, (16.12), (16.13), (16.14), п. 16.2.10, (16.15)	п. 7.1, (1), п. 7.3, (3), п. 7.12, (24), п. 9.23, п. 13.2, (129), (130), п. 13.3, (131), (132), п. 13.5, (135), п. 13.7, (136), (137), п. 13.8, (139)

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по					
	СНиП II-23-81	СП 53-102-2004	СП 16.13330	ДБН В.2.6-163:2010	ДБН В.2.6-198:2014	Ссылка на ШНК 2.03.05-13
Сопряжения ригеля с колонной	п. 5.3, (7), п. 5.12, (28), (29), п. 5.13, (31), п. 5.14*, (33), п. 5.25*, (50), п. 7.2* (72), (73), п. 7.4, (74), п. 7.6*, (79), п. 7.24, п. 11.2*, (120), (121), п. 11.3*, (122), (123), п. 11.13*, (131)*, (132)*	п. 8.1.3, (7) п. 8.5.18, (97), п. 9.2.1, (35), (36), (38), (39) п. 9.2.2, (41), п. 9.5.2, (71), (72), п. 9.5.3, (73) п. 10.1.1, (91), п. 5.1.16, (155), (156), п. 15.1.17, (157), (158), п. 15.1.19, (161), (162), п. 15.3.3, (170), п. 15.3.4, (171)	п. 7.1.3 (7), п. 8.2.1, (41), (42), (44)-(46), п. 8.5.17, п. 9.1.1, (106), п. 9.4.2, (125), (126), п. 9.4.3, (131), п. 9.5.14 (82), п. 14.1.16, (176), (177), п. 14.1.17, (178), (179), п. 14.1.19, (182), (183) п. 14.3.3, (191), п. 14.3.4, (192)	п. 1.4.1.3, (1.4.3), п. 1.4.3.7, (1.4.27), п. 1.5.2.1, (1.5.2), (1.5.4), (1.5.5) п. 1.5.2.2, (1.5.6), п. 1.5.5.13, п. 1.6.1.1, (1.6.2), п. 1.6.4.2, (1.6.20), (1.6.21), (1.6.22), п. 1.12.1.16, (1.12.2), (1.12.3), п. 1.12.1.17, (1.12.4), (1.12.5), п. 1.12.1.19, (1.12.8), (1.12.9) п. 1.12.3.3, (1.12.17), п. 1.12.3.4, (1.12.18)	п. 8.1.1, (8.1), п. 8.1.3, (8.3), п. 9.2.1, (9.1), (9.2), (9.4), (9.5) п. 9.2.2, (9.6), (9.7), п. 9.5.13, п. 10.1.1, (10.2), п. 10.4.2, (10.20), (10.21), (10.22), п.12.1, п. 16.1.16, (16.2), (16.3), п. 16.1.17, (16.4), (16.5), п. 16.1.19, (16.8), (16.9) п. 16.3.3, (16.17), п. 16.3.4, (16.18)	п. 7.3, (3), п. 7.12, (24), (25), п. 7.13, (27), п. 7.14, (29), п. 7.25, (48), п. 9.2, 9.3 (79), (80), п. 9.5, (81), п. 9.7, (86), п. 9.24, п. 13.2*, (129), (130), п. 13.3, (131), (132), п. 13.13, (140), (141)

9.7 Литература

[1] Васильченко В.Т., Рутман А.Н., Лукьяненко Е.П. Справочник конструктора металлических конструкций, – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будівельник, 1990. – 311 с.

[2] Перельмутер А.В., Гильденгорн Л.А., О классификации стальных конструкций / Строительная механика и расчет сооружений. –1990. – №3. – с. 67–70.

[3] Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). – М.: Стройиздат, 1989.

[4] Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.

[5] Справочник проектировщика Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Общая часть. / Под общей ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. – 576 с.

10. Программа КОМЕТА Eurocode 3

10.1 Общие сведения

Программа **КОМЕТА** предназначена для экспертизы принятых проектных решений и проектирования наиболее распространенных типов узлов стержневых металлических конструкций зданий и сооружений в промышленном и гражданском строительстве. Целью этой главы является подробное описание той ветки программы, которая реализует требования EN 1993-1-1:2005, EN 1993-1-5:2005 и EN 1993-1-8:2005.

Для принятого технического решения узла определяются все его параметры, удовлетворяющие нормативным требованиям, а также ряду конструктивных и сортаментных ограничений. Нормативные требования, как и конструктивные ограничения, предусмотренные нормами, являются обязательными, их нарушение не допускается. Однако имеются и такие конструктивные ограничения, нарушение которых вызывает только предупреждение, и программа может получить решение с такого рода нарушениями.

Исходными данными для автоматизированного проектирования узлов металлоконструкций являются конфигурация или тип узла, тип и размеры поперечных сечений несущих элементов, сходящихся в данном узле, а также усилия, действующие в этих элементах для одной или нескольких расчетных комбинаций нагружений.

Пользователю предоставляется возможность согласиться с предложенным решением или откорректировать его по собственному усмотрению с целью учета:

- принятой технологии изготовления конструкций;
- унификации решения в рамках проекта или в других принятых границах применения (проектной организации, завода-изготовителя и др.);
- использования нормализованных решений, обычно применяемых на предприятии;
- системы контроля качества продукции, принятой системы маркировки и др.

После этого программа выполняет диагностику проектного решения узла и генерирует чертеж, который представляет собой эскиз проектного решения узла с детализацией его параметров. С целью реализации возможности по доработке полученного технического решения узла, а также для возможных изменений формы представления чертежей (например, системы простановки размеров, некоторых условных обозначений и др.) предусмотрена возможность экспорта графических результатов работы программы в формат DXF-файлов системы AutoCAD.

В п. 9.2 приводятся некоторые дополнительные комментарии, целью которых является описание ряда общих положений принятия решений, которые заложены в концепцию разработки программы **КОМЕТА** и должны учитываться пользователем.

10.2 Главное окно

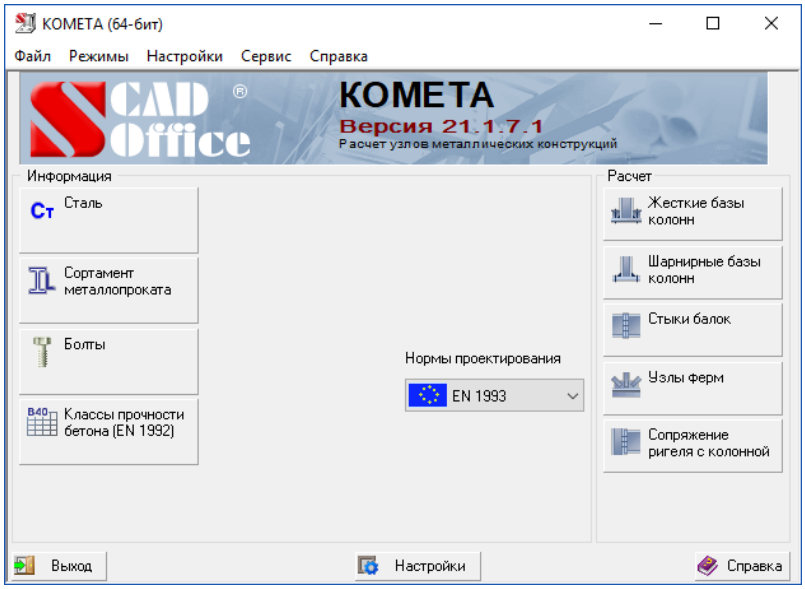


Рис. 10.2-1. *Главное окно* программы **КОМЕТА**

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно (рис. 10.2-1), содержащее набор кнопок для выбора режима работы. Эти режимы можно разделить на две группы:

- *информационные режимы*, выполняющие справочные и вспомогательные операции, объединенные в группу **Информация**;
- *расчетные режимы*, реализующие экспертизу и проектирование узлов металлических конструкций, объединенные в группу **Расчет**.

Детальное описание каждого из режимов приводится в последующих разделах. Представим здесь их краткую характеристику.

Информационные режимы представлены следующим набором:

- **Сталь** – режим, функцией которого является реализация рекомендаций строительных норм EN 1993-1-1:2005 по выбору марок стали. В данном информационном режиме предоставляются справочные данные о характеристических значениях предела текучести и предела прочности для различных марок сталей согласно EN 10025-2:2004, EN 10025-3:2004, EN 10025-4:2004, EN 10025-5:2004, EN 10025-6:2004, а также EN 10210-1:2006 и EN 10219-1:2006.
- **Сортамент металлопроката** – режим, который дает возможность просмотра сортаментов фасонной стали;
- **Болты** – режим, обеспечивающий возможность просмотра сортамента болтов с указанием справочных данных о механических свойствах болтов, а также максимально допустимых усилиях и минимальных разрушающих нагрузок растяжения для болтов согласно EN ISO 898-1:1999-12.
- **Классы прочности бетона (EN 1992)** – информационный режим, позволяющий определить нормативную цилиндрическую прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток, а также расчетное сопротивление для первой и второй групп предельных состояний в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие в соответствии с EN 1992-1-1:2004.

В группу *расчетных режимов* входят:

- **Жесткие базы колонн** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования узлов баз колонн, реализующих жесткое закрепление колонны в фундаменте;
- **Шарнирные базы колонн** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования шарнирных узлов баз колонн;

- **Стыки балок** – режим, служащий для экспертизы и проектирования стыков балок, выполненных с помощью накладок или на фланцах;
- **Узлы ферм** – режим, предназначенный для экспертизы и проектирования узлов ферм;
- **Сопряжение ригеля с колонной** – режим экспертизы и проектирования конструктивных решений шарнирных и жестких узлов сопряжений ригеля с колонной.

Обращение к любому из указанных режимов приводит к появлению многостраничного диалогового окна, с помощью которого выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

В главном окне программы располагается ряд кнопок, являющихся общими элементами управления для всех режимов работы. К ним относятся кнопки: **Выход**, **Настройки** и **Справка**. Кнопки **Справка** и **Выход** выполняют обычные для Windows-приложений функции – запрос справочной информации и прекращение работы программы, соответственно.

Кнопка **Настройки** предназначена для открытия диалогового окна **Настройки приложения**, с помощью которого выполняется настройка общих параметров работы программы (см. раздел 2.2).

Для возвращения в главное окно программы **КОМЕТА** во всех режимах используется кнопка **Меню**.

10.3 Информационные режимы

10.3.1 Сталь

Информационный режим **Сталь** предназначен для выбора марки стали проектируемой конструкции и ее элементов и содержит две станицы: **Листовой и фасонный прокат** (рис. 10.3.1-1) и **Трубы** (рис. 10.3.1-2), где предоставляются набор возможных марок сталей по EN 10025-2:2004, EN 10025-3:2004, EN 10025-4:2004, EN 10025-5:2004, EN 10025-6:2004, а также EN 10210-1:2006 и EN 10219-1:2006, справочные данные о характеристических значениях предела текучести (f_y) и предела прочности (f_u) для выбранной марки стали, а также указывается стандарт, соответствующий выбранной марке стали.

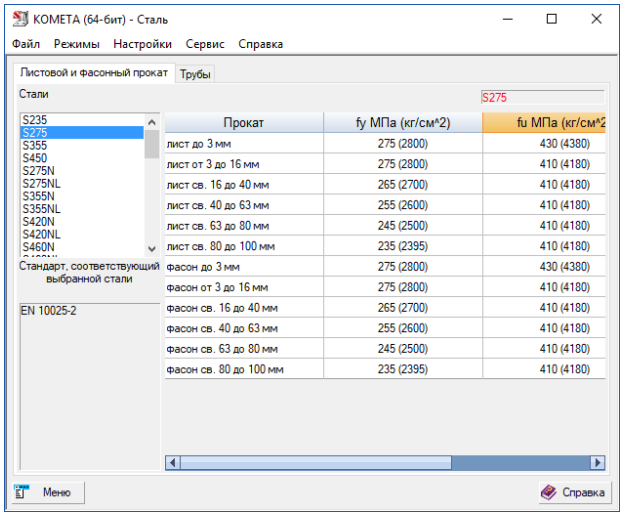


Рис. 10.3.1-1. *Страница* **Листовой и фасонный прокат** *режима* **Сталь**

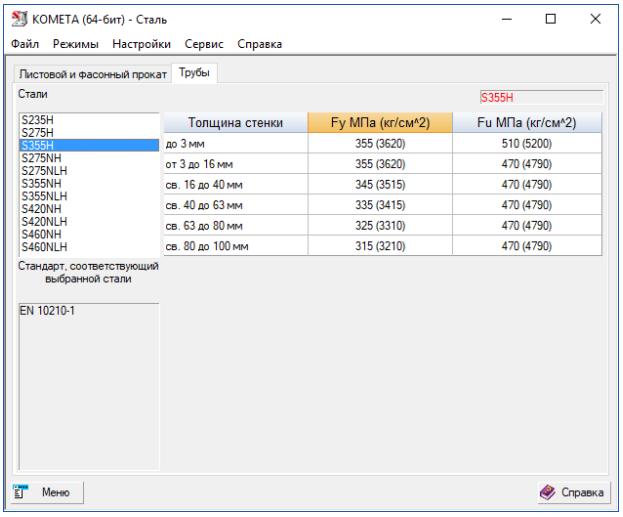


Рис. 10.3.1-2. *Страница* **Трубы** *режима* **Сталь**

10.3.2 Сортамент металлопроката

Режим **Сортамент металлопроката** дает возможность просмотра сортаментов, представленных в базе данных программы **КОМЕТА**.

Диалоговое окно этого режима представляет список сортаментов **Каталоги металлопроката**, представленный в виде древовидной структуры, расположенной слева. При указании курсором на интересующий тип профиля в информационном окне выводится таблица с характеристиками профилей данного вида (рис. 10.3.2-1). При выборе конкретного профиля в том же окне будет показано поперечное сечение профиля с размерами (рис. 10.3.2-2).

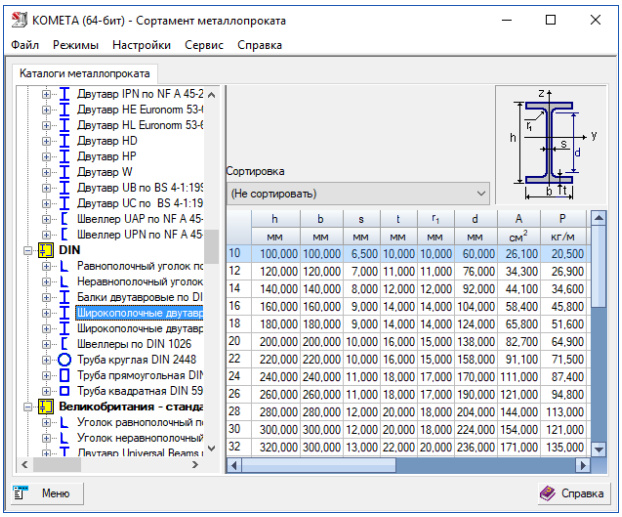


Рис. 10.3.2-1. *Диалоговое окно режима* **Сортамент металлопроката** (выбран тип профиля)

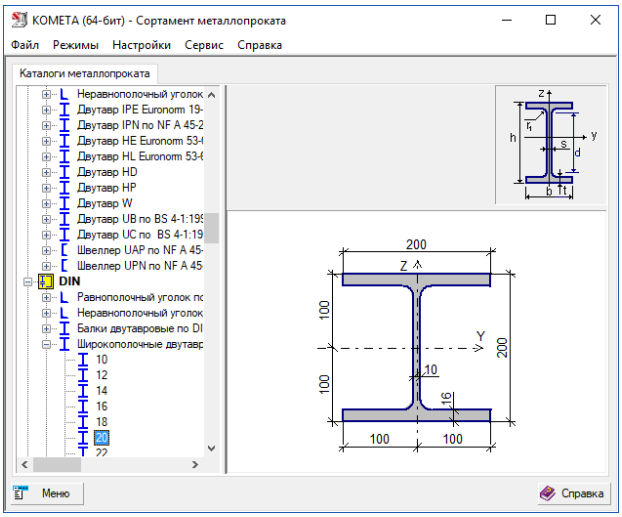


Рис. 10.3.2-2. *Диалоговое окно режима* **Сортамент металлопроката** (выбран конкретный профиль)

10.3.3 Болты

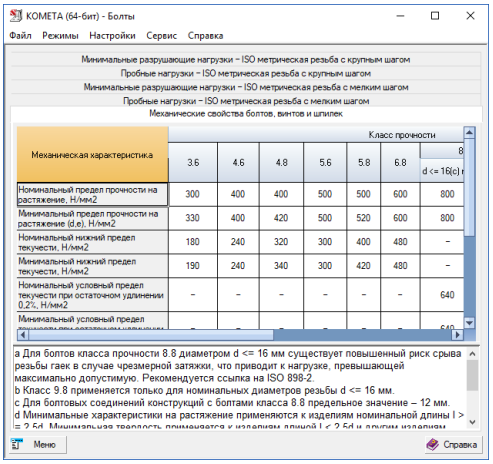
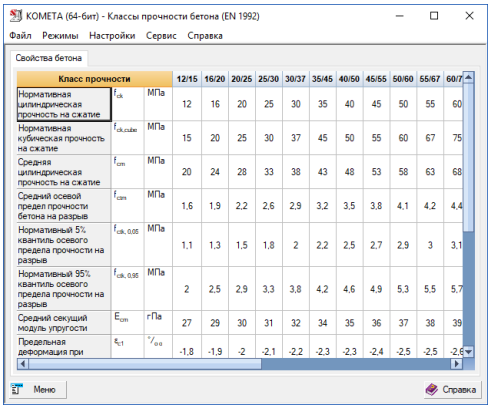


Рис. 10.3.3-1. *Режим* **Болты**

Режим **Болты** обеспечивает возможность просмотра сортаментов болтов с указанием справочных данных о механических свойствах болтов, а также максимально допустимых усилиях и минимальных разрушающих нагрузках согласно EN ISO 898-1:1999-12 (рис. 10.3.3-1).

10.3.4 Класс прочности бетона (EN 1992)



Класс прочности			12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60	55/67	60/7
Нормативная цилиндрическая прочность на сжатие	f_{ck}	МПа	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Нормативная кубическая прочность на сжатие	$f_{ck,cube}$	МПа	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75
Средняя цилиндрическая прочность на сжатие	f_{cm}	МПа	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68
Средний осевой предел прочности бетона на разрыв	f_{ctm}	МПа	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4
Нормативный 5% квантиль осевого предела прочности на разрыв	$f_{ctk,0,05}$	МПа	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,2	2,5	2,7	2,9	3	3,1
Нормативный 95% квантиль осевого предела прочности на разрыв	$f_{ctk,0,95}$	МПа	2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7
Средний секущий модуль упругости	E_{cm}	гПа	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39
Предельная деформация при	ε_{c1}	‰	-1,8	-1,9	-2	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6

Рис. 10.3.4-1. *Режим* **Класс прочности бетона (EN 1992)**

Режим **Класс прочности бетона (EN 1992)** (рис. 10.3.4-1) предназначен для получения информации о нормативной цилиндрической прочности бетона на сжатие в возрасте 28 суток, а также расчетном сопротивлении бетона для предельных состояний первой и второй группы в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие в соответствии с EN 1992-1-1:2004.

10.4 Расчетные режимы

10.4.1 Жесткие базы колонн

Режим **Жесткие базы колонн** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений узлов баз колонн, с помощью которых реализовано жесткое закрепление колонны в фундаменте. Этот режим охватывает широкий спектр конструктивных решений узлов данного типа, а именно:

- базы без траверс и консольных ребер (рис. 10.4.1-1);
- базы с траверсами и консольными ребрами (рис. 10.4.1-2).

При работе этого режима в соответствии с EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8 выполняются проверки:

- прочности конструктивных элементов, входящих в состав узла базы колонны (опорной плиты, фундаментных болтов, анкерных пластинок, траверс и консольных ребер, бетона фундамента на местное смятие);
- прочности сварных соединений узлов (крепления колонны к опорной плите, крепления траверсы к стержню колонны и к опорной плите, крепления консольного ребра к стержню колонны и к траверсе);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

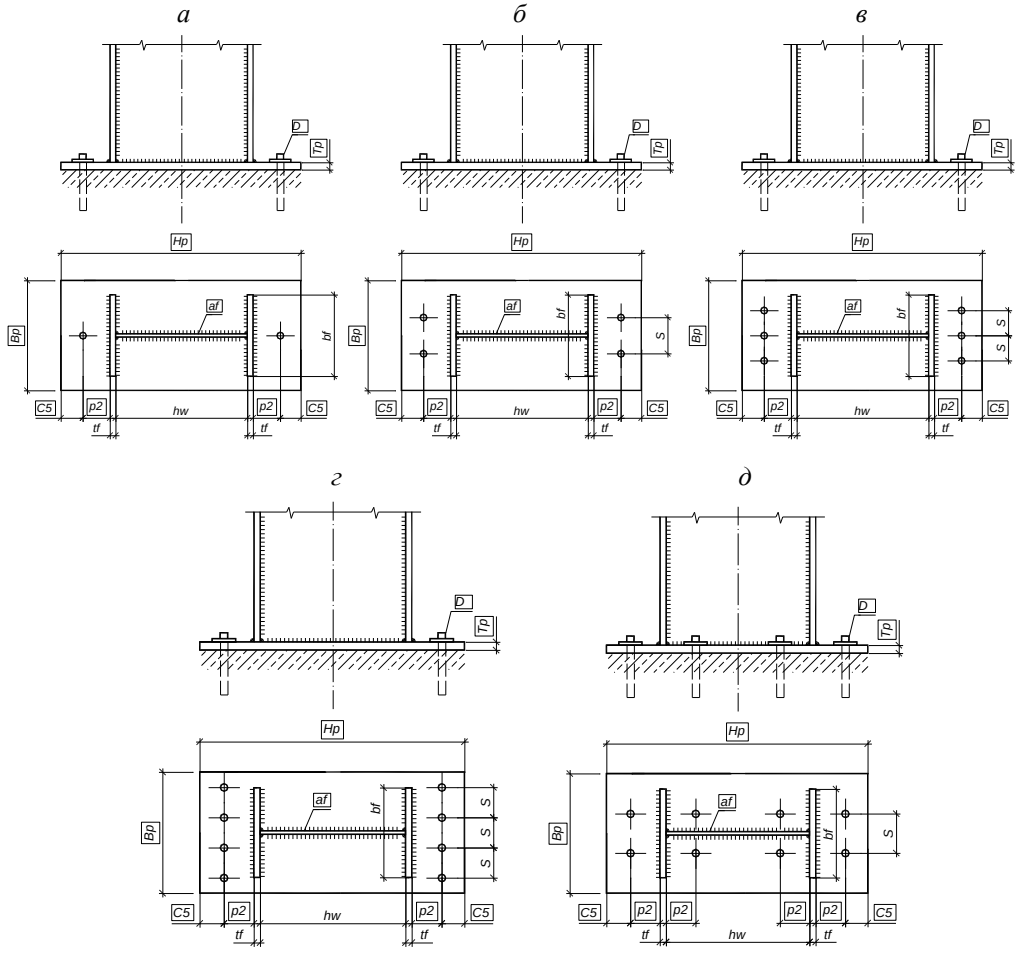


Рис. 10.4.1-1. Типы конструктивных решений узлов жестких баз колонн без траверс и консольных ребер

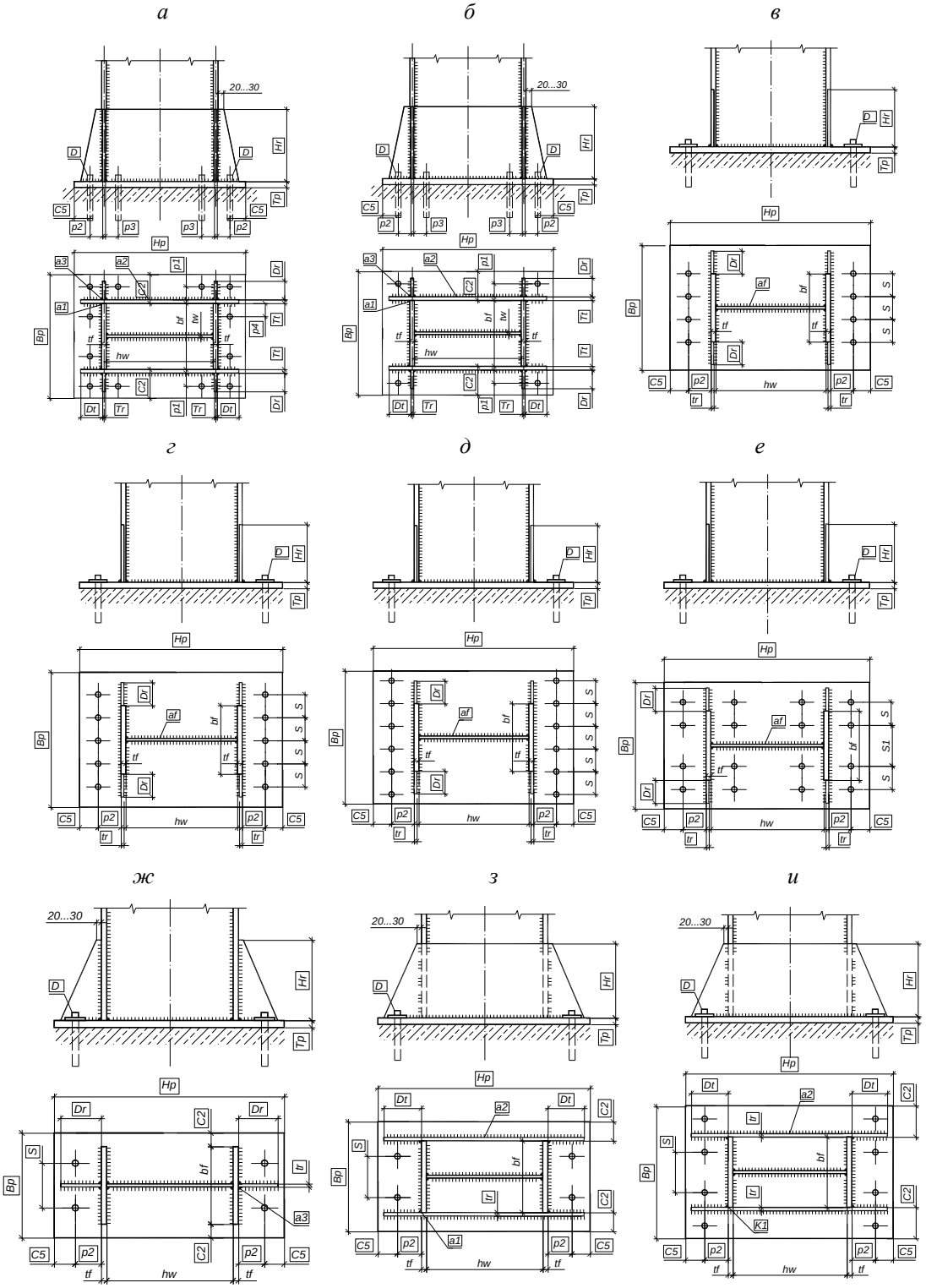


Рис. 10.4.1-2. Типы конструктивных решений узлов жестких баз колонн с траверсами и консольными ребрами

Главное окно режима **Жесткие базы колонн** включает следующие страницы: **Конфигурация** (рис. 10.4.1-3, 10.4.1-4), **Соединения** (рис. 10.4.1-8), **Усилия** (рис. 10.4.1-9), **Конструкция** (рис. 10.4.1-10), **Чертеж** (рис. 10.4.1-11) и **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.1-12).

Работа в режиме **Жесткие базы колонн** начинается с выбора типа сечения колонны на странице **Конфигурация**, который реализуется нажатием соответствующей кнопки: **Прокатный двутавр** или **Сварной двутавр**. В соответствии со сделанным выбором изменяется интерфейс этой страницы (рис. 10.4.1-3, рис. 10.4.1-4).

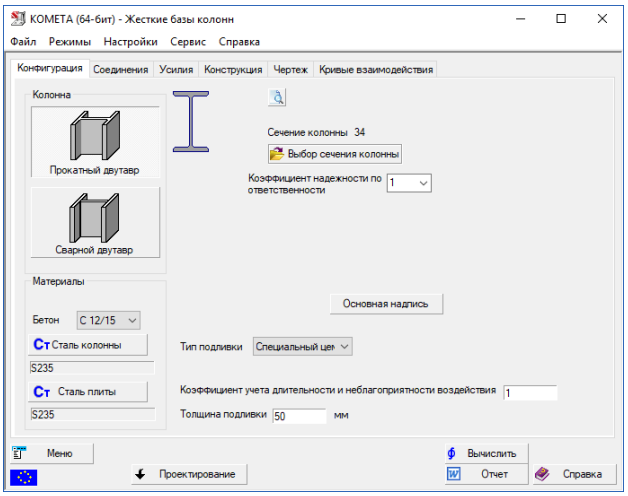


Рис. 10.4.1-3. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Жесткие базы колонн**
(для типа поперечного сечения колонны выбран прокатный двутавр)

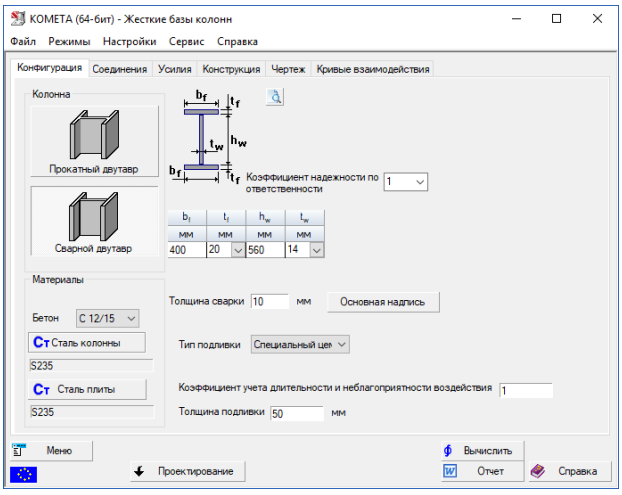


Рис. 10.4.1-4. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Жесткие базы колонн**
(для типа поперечного сечения колонны выбран сварной двутавр)

Для прокатного двутавра, выбранного в качестве типа поперечного сечения колонны, необходимо определить сортамент и номер профиля в данном сортаменте. Это осуществляется в диалоговом окне **Выбор профиля** (рис. 10.4.1-5), которое становится доступным после нажатия кнопки **Выбор сечения колонны**.

Если в качестве типа сечения колонны выбран сварной двутавр, необходимо определить размеры поперечного сечения колонны: высоту h_w и толщину t_w стенки, ширину b_f и толщину t_f полки. Размеры поперечного сечения колонны вводятся в таблицу в миллиметрах (рис. 10.4.1-4). Заметим, что толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающего списка, в котором содержится набор толщин, соответствующий сортаменту листовой стали. Обеспечена возможность графического контроля поперечного сечения колонны в информационном окне (рис. 10.4.1-6), которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

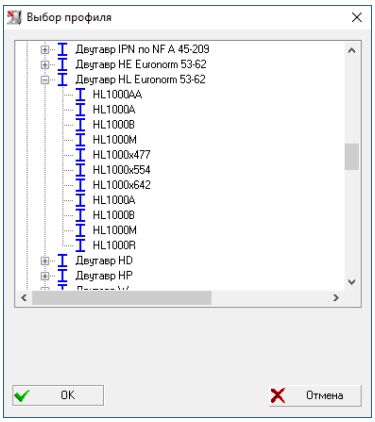


Рис. 10.4.1-5. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

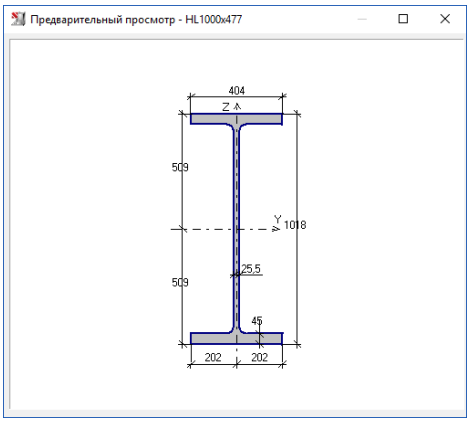


Рис. 10.4.1-6. *Информационное окно* **Предварительный просмотр**

Материал фундамента определяется с помощью выпадающего списка **Бетон**, в котором предлагается для выбора класс бетона фундамента базы колонны согласно EN 1992-1-1:2004. При нажатии на кнопки **Сталь колонны** и **Сталь плиты** вызывается информационный режим **Сталь** (см. рис. 10.3.1-1), где можно выбрать и задать класс стали, соответственно, для колонны и для опорной плиты базы.

Страница **Конфигурация** также содержит выпадающий список **Тип подливки** и поле **Толщина подливки**, предназначенные для ввода соответствующей информации о подливке под опорной плитой узла базы колонны (см. рис. 10.4.1-3, рис. 10.4.1-4).

На этой же странице в поле ввода **Коэффициент учета длительности и неблагоприятности воздействий** можно ввести значение соответствующего коэффициента (согласно EN 1992-1-1:2004), по умолчанию принятое равным единице.

В выпадающем списке **Коэффициент надежности по ответственности** пользователем задается соответствующий коэффициент, на значение которого будут умножены все расчетные значения внутренних усилий, действующих в опорном сечении колонны для всех расчетных комбинаций нагружений. В том случае, когда значения внутренних усилий в опорном сечении колонны были получены в результате анализа уже с учетом коэффициента надежности по ответственности (например, когда расчетные значения нагрузок задавались умноженными на данный коэффициент), тогда в этом выпадающем списке необходимо выбрать значение коэффициента равное единице.

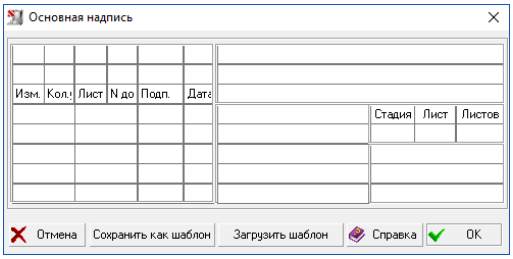


Рис. 10.4.1-7. *Диалоговое окно* **Основная надпись**

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к одноименному диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа (рис. 10.4.1-7), используемого в эскизе проектного решения узла базы колонны жесткого типа. Кнопка **Сохранить как шаблон** позволяет запомнить внесенную информацию как шаблон штампа в данном сеансе работы с программой. Использовать сохраненный шаблон можно как в текущем, так и в других режимах работы программы, нажав на кнопку **Загрузить шаблон**.

Страница **Соединения** (рис. 10.4.1-8) режима **Жесткие базы колонн** предназначена для ввода информации относительно особенностей сварных и болтовых соединений узлов жестких баз колонн. В частности, класс болтов и тип отверстия под болты определяются в выпадающих списках **Класс болтов** и **Тип отверстия,** соответственно. Тип шайбы в болтовых соединениях задается с помощью соответствующих кнопок выбора (простая (плоская) или же со скошенными кромками). Предусмотрена возможность учета

особенностей болтовых соединений при использовании болтов с потайной головкой с помощью выбора кнопки-маркера **Болты с потайной головкой** и задания в соответствующем поле ввода высоты головки болта. Для сварных соединений узлов жестких баз колонн на стыковых сварных швах может быть учтен их частичный провар с помощью выбора кнопки-маркера **Частичный провар стыкового шва** и задания в соответствующем поле ввода глубины провара. Для сварных соединений узлов жестких баз на угловых сварных швах также может быть учтен их глубокий провар с помощью выбора кнопки-маркера **Глубокий провар углового шва** и задания в соответствующем поле ввода дополнительной толщины наплавленного металла. Кнопки-маркеры, объединенные в группу **Особенности**, позволяют задать особенности сталей элементов соединений, в частности, в тех случаях, когда сталь принята согласно EN 10025-5 или же подвержена атмосферным влияниям, или же другим влияниям, вызывающим коррозию. Кроме того, предусмотрена возможность учесть особенности болтовых соединений в тех случаях, когда резьба болтов не соответствует EN 1090-1:2009, или же болты в соединении покрыты защитным покрытием, или же болтовые соединения устроены в конструкциях башен и мачт.

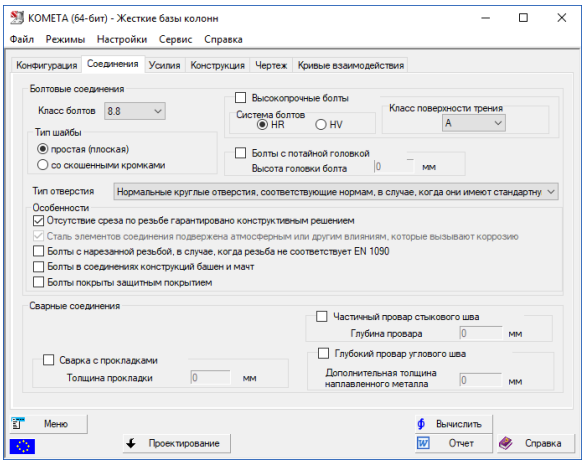


Рис. 10.4.1-8. *Страница* **Соединения** *режима* **Жесткие базы колонн**

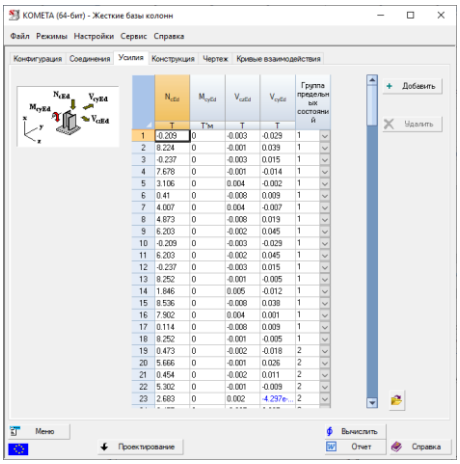


Рис. 10.4.1-9. *Страница* **Усилия** *режима* **Жесткие базы колонн**

На странице **Усилия** (рис. 10.4.1-9) задаются внутренние усилия, действующие в узле базы колонны: N_{cEd} - продольное усилие; M_{cyEd} - изгибающий момент в плоскости xOz; V_{czEd} и V_{cyEd} - поперечные силы относительно соответствующих главных осей инерции сечения колонны[7]. На рисунке, расположенном рядом с таблицей внутренних усилий, определены положительные направления внутренних усилий в сечениях элементов базы колонны. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. Единицы измерения внутренних усилий, действующих в узле, определяются на странице **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки приложения** (см. п. 2.2). По умолчанию единицы измерения продольных и поперечных усилий – тонны, изгибающих моментов – тонны×метры. В таблице задания расчетных значений внутренних усилий в последнем столбце **Группа предельных состояний** для каждой комбинации нагрузок предусмотрена возможность задать группу предельных состояний текущей комбинации (первая или вторая).

[7] Для ориентации заданных внутренних усилий относительно главных осей инерции поперечных сечений, сходящихся в узле, каждый стержень узла связывают с локальной (местной) системой координат xyz. В программе реализована следующая ориентация локальных систем координат стержней: ось $x-x$ направлена от начала стержня (начального узла) до конца (конечного узла), оси $y-y$ и $z-z$ (главные центральные оси инерции поперечного сечения стержня) вместе с осью $x-x$ образуют правостороннюю систему координат Декарта. При этом ось $y-y$ параллельна плоскости $X0Y$ глобальной системы координат, а ось $z-z$ направлена в верхнее полупространство.

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

Страница **Конструкция** содержит группу кнопок для выбора конструкции узла базы колонны жесткого типа (рис. 10.4.1-10).

Для проверки несущей способности в соответствии с требованиями EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8 известного конструктивного решения базы колонны необходимо задать все параметры узла: размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры анкерных болтов, размеры, регламентирующие расположение конструктивных элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице справа. По умолчанию единицами измерения линейных размеров приняты миллиметры. Диаметр анкерных болтов, а также их количество (для некоторых типов баз) задаются в специальных выпадающих списках, объединенных в группу **Болты анкерные**.

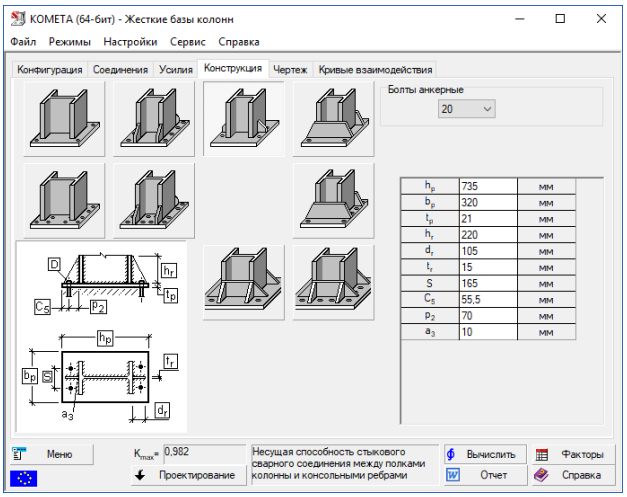


Рис. 10.4.1-10. *Страница* **Конструкция** *режима* **Жесткие базы колонн**

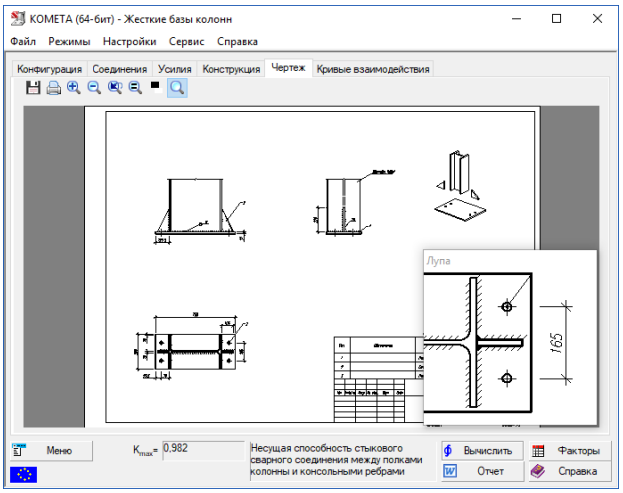


Рис. 10.4.1-11. *Страница* **Чертеж** *режима* **Жесткие базы колонн**

При нажатии кнопки **Проектирование** появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор проектного решения базы колонны совершался на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 9.2). В качестве управляемых параметров принимались диаметр анкерных болтов и толщина опорной плиты, а также габариты опорной плиты базы.

При нажатии кнопки **Вычислить** программа выполняет проверку несущей способности опорного сечения колонны, конструктивных элементов узла (опорной плиты, траверс, консольных ребер и т.д.), а также соединений (сварных соединений и соединения на анкерных болтах) при заданных (или подобранных ранее) значениях параметров в соответствии с требованиями EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$,

расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла жесткой базы колонны стадии КМ.

Полный перечень выполненных проверок доступен по нажатию кнопки **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов**, где можно ознакомиться со значениями всех коэффициентов использования ограничений, представленных тут в числовой и графической формах. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов жестких баз колонн представлен в табл. 10.4.1-1.

С помощью кнопки **Отчет** предусмотрена возможность формирования отчетного документа, который содержит исходные данные и результаты расчета, его создание описано в разделе 2.5.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 10.4.1-11) выполняется проверка и проектирование узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

В верхней части страницы **Чертеж** расположена панель инструментов с кнопками управления ( ), которые обеспечивают возможность масштабирования графического изображения, его сохранение в формате DWG (DXF) системы AutoCAD и печать.

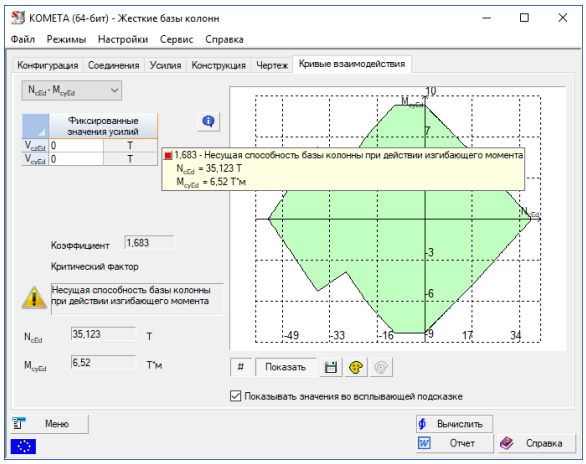


Рис. 10.4.1-12. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Жесткие базы колонн**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.1-12) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла жесткой базы колонны при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в опорном сечении колонны.

Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла жесткой базы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора внутренних усилий, который соответствует текущему положению курсора на области кривой взаимодействия.

Одновременно в поле **Коэффициент** выводится максимальное значение коэффициента использования ограничений K_{max}, соответствующее текущим значениям внутренних усилий, а в поле **Критический фактор** выдается название типа проверки, для которой он вычислен. Если курсор мыши располагается за границами области несущей способности, где $K_{max} > 1$, то рядом с названием типа проверки появляется предупреждающий знак .

Табл. 10.4.1-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов жестких баз колонн при проектировании по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005

Название фактора	Тип базы	Ссылка на EN 1993-1-8	Ссылка на EN 1993-1-1
Несущая способность базы колонны при действии сжимающего усилия	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	пп. 6.2.3, 6.2.6.1, 6.2.6.2	
Несущая способность базы колонны при действии изгибающего момента и продольного усилия	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	пп. 6.2.6.1, 6.2.6.3, табл. 6.7	
Несущая способность анкерных болтов на растяжение	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	п. 3.4.2 (2), табл. 3.4, 3.6.1 (1), 3.6.1 (3), 6.2.4.12	
Несущая способность анкерных болтов на срез	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.4, 3.6.1 (1), 3.6.1 (3)	
Несущая способность анкерных болтов на растяжение и срез	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.4, 3.6.1 (1), 3.6.1 (3)	
Несущая способность углового сварного соединения между опорным сечением колонны и опорной плитой базы	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность углового сварного соединения между траверсой и полками колонны	рис. 10.4.1-2, *а, б, з, и*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность углового сварного соединения между траверсой и опорной плитой базы	рис. 10.4.1-2, *а, б, з, и*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность углового сварного соединения между траверсой и консольными ребрами	рис. 10.4.1-2, *а, б*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность стыкового сварного соединения между полками колонны и консольными ребрами	рис. 10.4.1-2, *в, г, д, е, ж*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность опорного сечения колонны на действие поперечной силы, параллельной плоскости стенки	рис. 10.4.1-1; 8.5.1-2		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие поперечной силы, перпендикулярной плоскости стенки	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие продольного растягивающего усилия	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.3, (6.5)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие продольного сжимающего усилия	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие изгибающего момента	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.5, (6.10)
Несущая способность опорного сечения колонны на совместное действие изгибающего момента и поперечной силы	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность опорного сечения колонны на совместное действие изгибающего момента и продольного усилия	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.9.1, (6.26)

Название фактора	Тип базы	Ссылка на EN 1993-1-8	Ссылка на EN 1993-1-1
Несущая способность опорного сечения колонны на совместное действие изгибающего момента, продольного усилия и поперечной силы	рис. 10.4.1-1; 9.5.1-2		п. 6.2.10
Несущая способность траверс на изгиб	рис. 10.4.1-2, *а, б, з, и*		п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность консольных ребер на изгиб	рис. 10.4.1-2, *а, б, в, г, д, е, ж*		п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25)

Примечания:

1. Минимальные и максимальные расстояния между центрами отверстий под болты и от центра отверстия до края элементов в болтовых соединениях узлов принимались согласно табл. 3.3 EN 1993-1-8:2005.
2. Расчетная толщина сварного шва принималась не менее 3 мм, как это предусмотрено в п. 4.5.2 (2) EN 1993-1-8:2005.
3. Расчетная длина сварных швов принималась как геометрическая длина шва за вычетом двух расчетных толщин шва согласно п. 4.5.1 (1) EN 1993-1-8:2005 с учетом минимальной длины шва, определенной в п. 4.5.1 (2) EN 1993-1-8:2005.

10.4.2 Шарнирные базы колонн

Режим **Шарнирные базы колонн** предназначен для проектирования и экспертизы конструктивных решений узлов баз колонн, с помощью которых реализовано шарнирное закрепление колонны в фундаменте. Этот режим охватывает широкий спектр конструктивных решений узлов данного типа, а именно:

- базы без траверс и консольных ребер (рис. 10.4.2-1);
- базы с траверсами и консольными ребрами (рис. 10.4.2-2).

При работе этого режима в соответствии с EN 1993-1-1 и EN 1993-1-8 выполняются проверки:

- прочности конструктивных элементов, входящих в состав узла базы колонны (опорной плиты, траверс и консольных ребер, бетона фундамента на местное смятие);
- прочности сварных соединений узлов (крепления колонны к опорной плите, крепления траверсы к стержню колонны и к опорной плите, крепления консольного ребра к стержню колонны и к траверсе);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

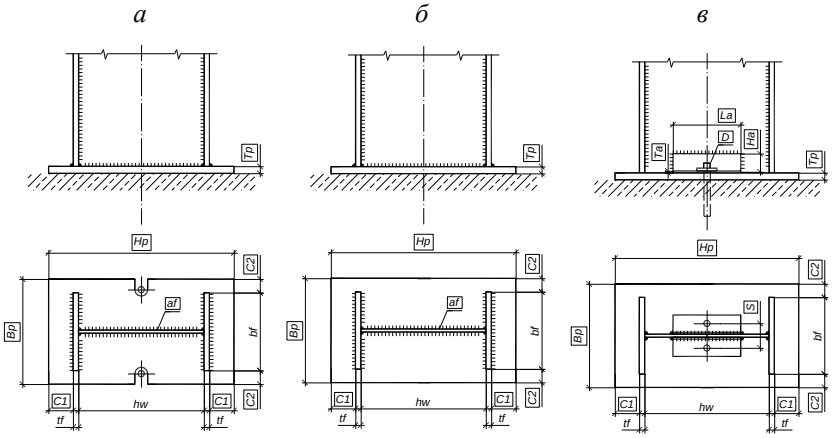


Рис. 10.4.2-1. Типы конструктивных решений шарнирных баз колонн без траверс и консольных ребер

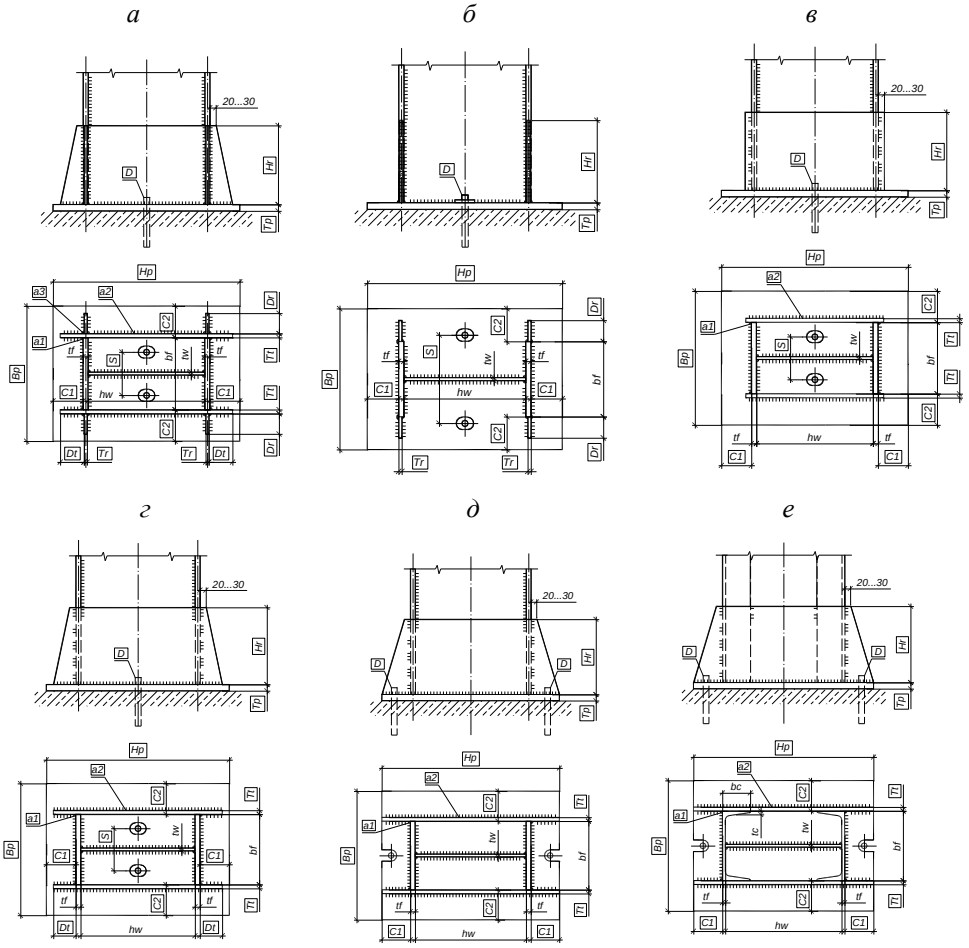


Рис. 10.4.2-2. Типы конструктивных решений шарнирных баз колонн
с траверсами и консольными ребрами

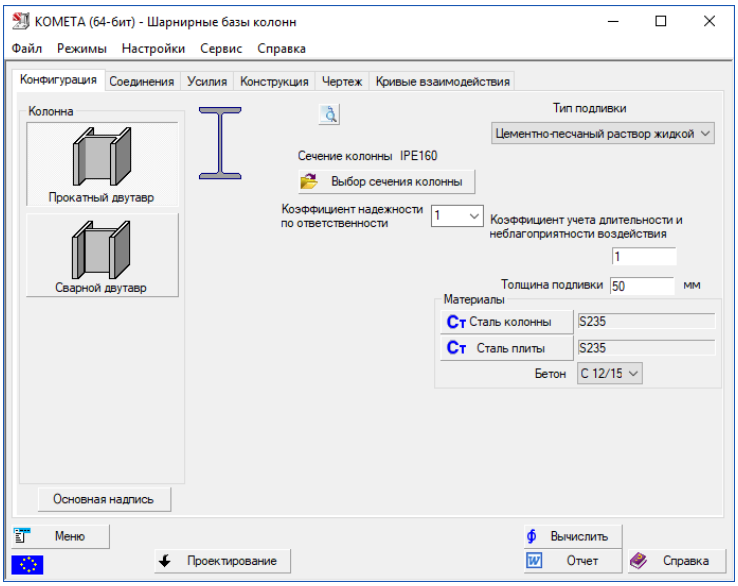


Рис. 10.4.2-3. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Шарнирные базы колонн**

Главное окно режима **Шарнирные базы колонн** содержит следующие страницы: **Конфигурация** (рис. 10.4.2-3), **Соединения** (рис. 10.4.2-6), **Усилия** (рис. 10.4.2-7), **Конструкция** (рис. 10.4.2-8), **Чертеж** (рис. 10.4.2-9) и **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.2-10).

Работа в режиме **Шарнирные базы колонн** начинается с выбора типа сечения колонны, который реализуется нажатием соответствующей кнопки на странице **Конфигурация** (рис. 10.4.2-3). В этом режиме предусмотрено два типа сечения колонны: прокатный двутавр и сварной двутавр. Размеры поперечного сечения сварного двутавра и номер профиля прокатного двутавра определяются так же, как и в режиме **Жесткие базы колонн**.

Если в качестве типа сечения колонны выбран прокатный двутавр, необходимо определить сортамент и номер двутавра в данном сортаменте. Это осуществляется в диалоговом окне **Выбор профиля** (рис. 10.4.2-4), которое становится доступным после нажатия кнопки **Выбор сечения колонны**. Обеспечена возможность графического контроля поперечного сечения колонны в информационном окне (рис. 10.4.2-5), которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

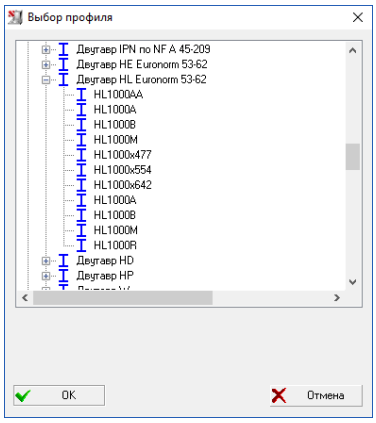


Рис. 10.4.2-4. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

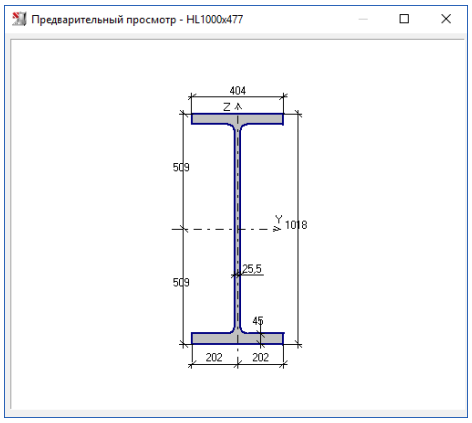


Рис. 10.4.2-5. *Информационное окно* **Предварительный просмотр**

На странице **Конфигурация** также содержится выпадающий список **Тип подливки** и поле **Толщина подливки**, предназначенные для ввода соответствующей информации о подливке под опорной плитой узла шарнирной базы колонны (см. рис. 10.4.2-3).

Материалы, использующиеся для расчета и проектирования узла шарнирной базы колонны, определяются в выпадающем списке **Бетон**, а также при нажатии кнопок **Сталь колонны** и **Сталь плиты**. В выпадающем списке **Бетон** предлагаются для выбора класс бетона фундамента базы колонны согласно

EN 1992-1-1:2004. При нажатии на кнопки **Сталь колонны** и **Сталь плиты** вызывается информационный режим **Сталь** (см. рис. 10.3.1-1), где можно выбрать и задать марку стали, соответственно, для колонны и для опорной плиты шарнирной базы.

В поле ввода **Коэффициент учета длительности и неблагоприятности воздействий** (см. рис. 10.4.2-3) необходимо ввести значение соответствующего коэффициента согласно EN 1992-1-1:2004, по умолчанию принятое равным единице. Тут же размещен выпадающий список **Коэффициент надежности по ответственности**, где необходимо выбрать или ввести значение соответствующего коэффициента.

Функциональные возможности кнопки **Основная надпись** аналогичны тем, которые предусмотрены в режиме **Жесткие базы колонн**.

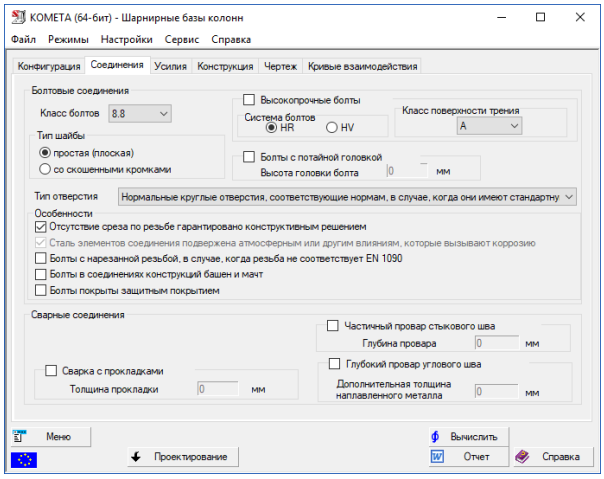


Рис. 10.4.2-6. *Страница* **Соединения** *режима* **Шарнирные базы колонн**

Страница **Соединения** (рис. 10.4.2-6) режима **Шарнирные базы колонн** предназначена для ввода информации относительно особенностей сварных и болтовых соединений узлов шарнирных баз колонн. В частности, класс болтов и тип отверстия под болты определяются в выпадающих списках **Класс болтов** и **Тип отверстия,** соответственно. Тип шайбы в болтовых соединениях задается с помощью соответствующих кнопок выбора (простая (плоская) или же со скошенными кромками). Предусмотрена возможность учета особенностей болтовых соединений при использовании болтов с потайной головкой с помощью выбора кнопки-маркера **Болты с потайной головкой** и задания в соответствующем поле ввода высоты головки болта. Для сварных соединений узлов шарнирных баз колонн на стыковых сварных швах может быть учтен их частичный провар с помощью выбора кнопки-маркера **Частичный провар стыкового шва** и задания в соответствующем поле ввода глубины провара. Для сварных соединений узлов шарнирных баз на угловых сварных швах также может быть учтен их глубокий провар с помощью выбора кнопки-маркера **Глубокий провар углового шва** и задания в соответствующем поле ввода дополнительной толщины наплавленного металла. Кнопки-маркеры, объединенные в группу **Особенности**, позволяют задать особенности сталей элементов соединений, в частности, в тех случаях, когда сталь принята согласно EN 10025-5 или же подвержена атмосферным влияниям, или же другим влияниям, вызывающим коррозию. Кроме того, предусмотрена возможность учесть особенности болтовых соединений в тех случаях, когда резьба болтов не соответствует EN 1090-1:2009, или же болты в соединении покрыты защитным покрытием, или же болтовые соединения устроены в конструкциях башен и мачт.

На странице **Усилия** (рис. 10.4.2-7) задаются внутренние усилия, действующие в узле базы колонны: N_{cEd} – продольное усилие; V_{czEd} и V_{cyEd} – поперечные силы в двух плоскостях. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения продольного усилия и поперечных сил для текущей расчетной комбинации нагрузок. На рисунке, расположенном рядом с таблицей внутренних усилий, определены положительные направления внутренних усилий в сечениях элементов базы колонны. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицы измерения продольных и поперечных усилий – тонны. Другие единицы измерения внутренних усилий, действующих в узле, можно определить на странице **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки приложения** (см. п. 2.2). Предусмотрена возможность смены силовой плоскости (кнопка **Изменить силовую плоскость**, нажатие которой приводит к смене M_y на M_z и Q_y на Q_z).

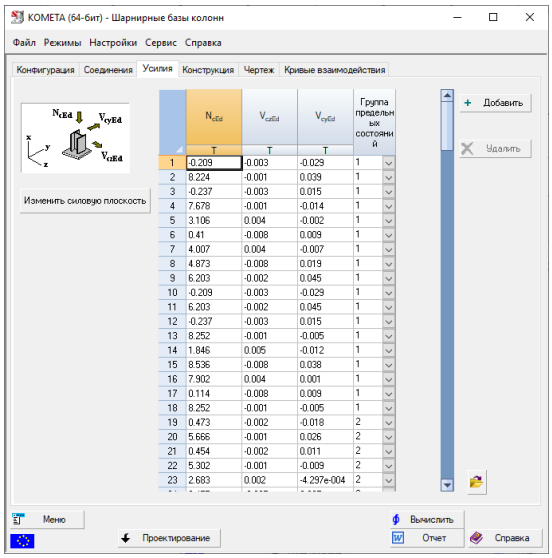


Рис. 10.4.2-7. *Страница* **Усилия** *режима* **Шарнирные базы колонн**

При расчете и проектировании согласно EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005 на странице **Усилия** (см. рис. 10.4.2-7) в таблице задания значений внутренних усилий для одной или нескольких расчетных комбинаций нагрузок предусмотрен дополнительный столбец **Группа предельных состояний**, в котором необходимо определить группу предельных состояний текущей комбинации нагрузок (первая или вторая).

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

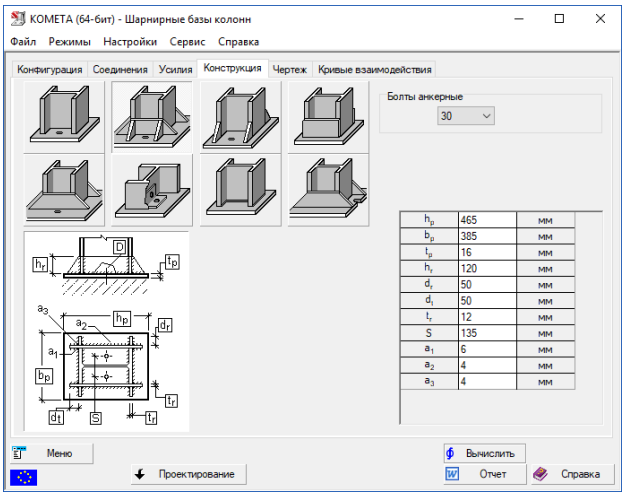


Рис. 10.4.2-8. *Страница* **Конструкция** *режима* **Шарнирные базы колонн**

Страница **Конструкция** содержит группу кнопок для выбора конструктивного решения узла шарнирной базы колонны (рис. 10.4.2-8).

При оценке несущей способности заданного конструктивного решения узла базы колонны расчетные параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Конструкция**. Диаметр и марка стали фундаментных болтов задаются в специальных выпадающих списках, объединенных в группу **Болты анкерные**. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров приняты миллиметры.

При нажатии кнопки **Проектирование** появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор параметров конструктивного решения узла шарнирной базы колонны совершался на базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 9.2). При этом в качестве управляемых параметров

принимались диаметр анкерных болтов и толщина опорной плиты, а также габариты опорной плиты базы.

При нажатии кнопки **Вычислить** программа выполняет проверку несущей способности опорного сечения колонны, конструктивных элементов узла (опорных плит, траверс, консольных ребер и т.д.), а также их соединений (сварных соединений и соединений на анкерных болтах) при заданных (или подобранных ранее) значениях параметров узла в соответствии с требованиями EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла шарнирной базы колонны стадии КМ.

Полный перечень выполненных проверок доступен по нажатию кнопки **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов**, где можно ознакомиться со значениями всех коэффициентов использования ограничений, представленных тут в числовой и графической формах. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов шарнирных баз колонн представлен в табл. 10.4.2-1.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 10.4.2-9) выполняется проверка узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

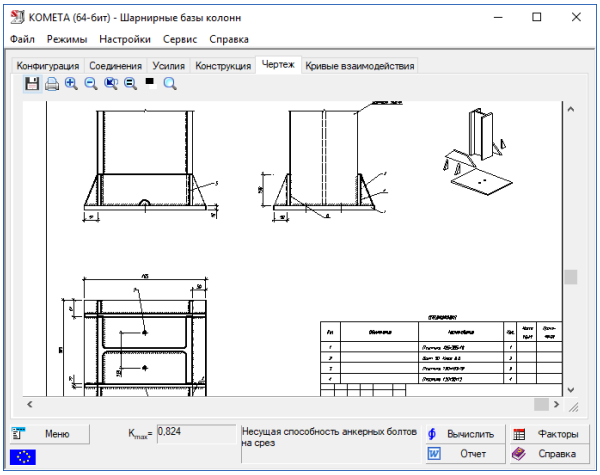


Рис. 10.4.2-9. *Страница* **Чертеж** *режима* **Шарнирные базы колонн**

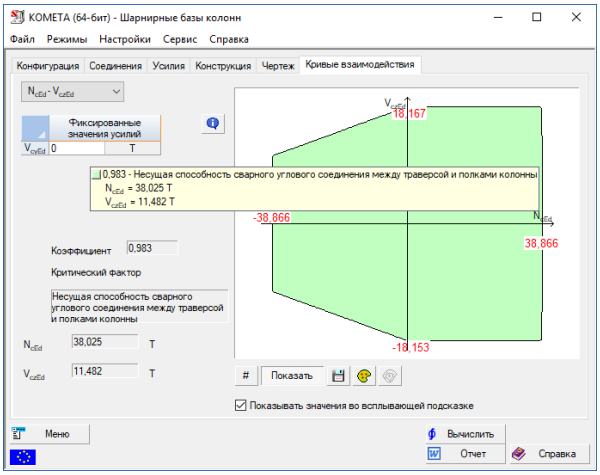


Рис. 10.4.2-10. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Шарнирные базы колонн**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.2-10) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла шарнирной базы колонны при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в опорном сечении колонны.

Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**. При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла шарнирной базы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на области кривой взаимодействия.

Табл. 10.4.2-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов шарнирных баз колонн при проектировании по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005

Название фактора	Тип базы	Ссылка на EN 1993-1-8	Ссылка на EN 1993-1-1
Несущая способность базы колонны при действии сжимающего усилия	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2	п. 6.2.3, (6.4)-(6.6), п. 6.2.6.2	
Несущая способность анкерных болтов на растяжение	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2	п. 3.4.2 (2), табл. 3.4, п. 3.6.1 (1), п. 3.6.1 (3), п. 6.2.4.12	
Несущая способность анкерных болтов на срез	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.4, п. 3.6.1 (1), п. 3.6.1 (3)	
Несущая способность анкерных болтов на растяжение и срез	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.4, п. 3.6.1 (1), п. 3.6.1 (3)	
Несущая способность сварного углового соединения между опорным сечением колонны и опорной плитой базы	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного углового соединения между траверсой и полками колонны	рис. 10.4.2-2, *а, б, з, и*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного углового соединения между траверсой и опорной плитой базы	рис. 10.4.2-2, *а, б, з, и*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного углового соединения между траверсой и консольными ребрами	рис. 10.4.2-2, *а, б*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного стыкового соединения между полками колонны и консольными ребрами	рис. 10.4.2-2, *в, г, д, е, ж*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность опорного сечения колонны на действие поперечной силы, параллельной плоскости стенки	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие поперечной силы, перпендикулярной плоскости стенки	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие продольного растягивающего усилия	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2		п. 6.2.3, (6.5)
Несущая способность опорного сечения колонны на действие продольного сжимающего усилия	рис. 10.4.2-1; 10.4.2-2		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность траверс на изгиб	рис. 10.4.2-2, *а, б, з, и*		п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность консольных ребер на изгиб	рис. 10.4.2-2, *а, б, в, г, д, е, ж*		п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25)
Примечания: см. *Примечания* табл. 10.4.1-1.			

10.4.3 Стыки балок

Режим **Стыки балок** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений монтажных стыков двутавровых балок, выполненных на высокопрочных болтах или болтах обычной прочности с использованием накладок или фланцев.

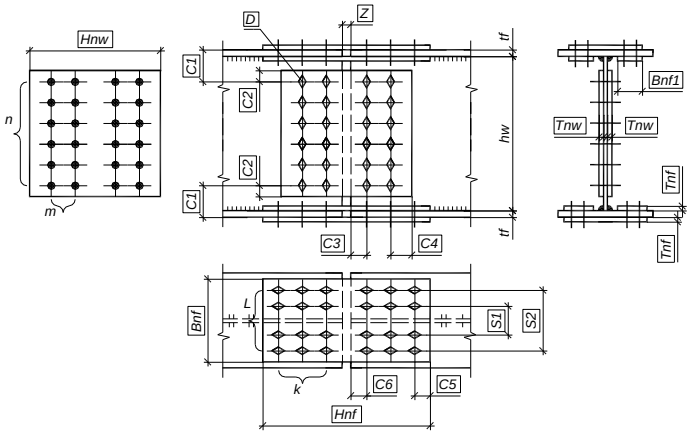
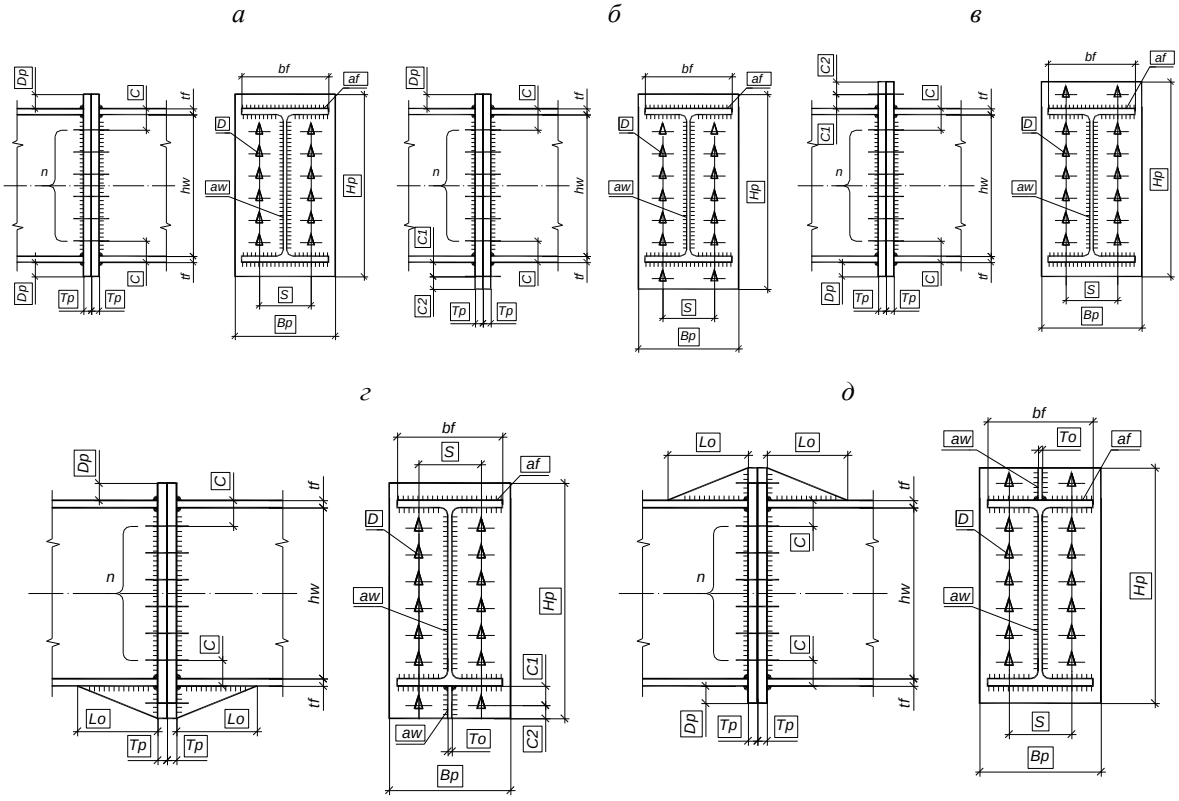


Рис. 10.4.3-1. Конструктивное решение стыка балок на накладках



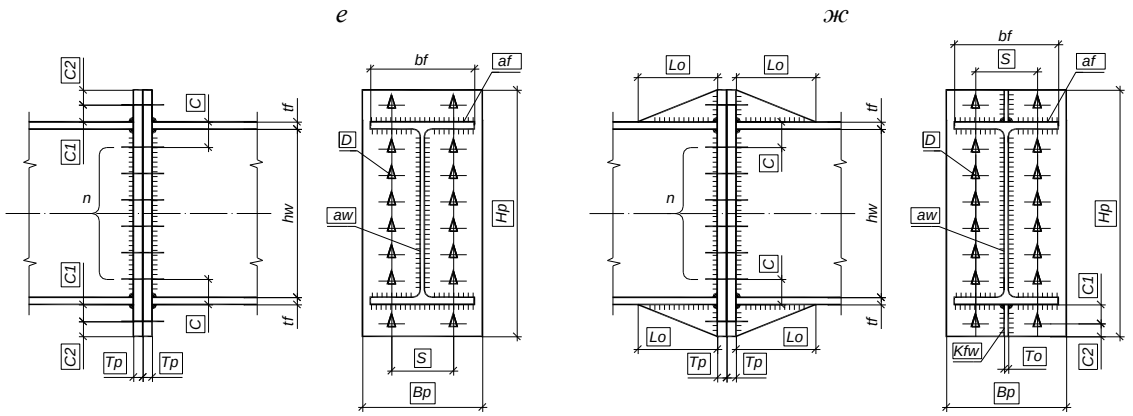


Рис. 10.4.3-2. Типы конструктивных решений фланцевых стыков балок

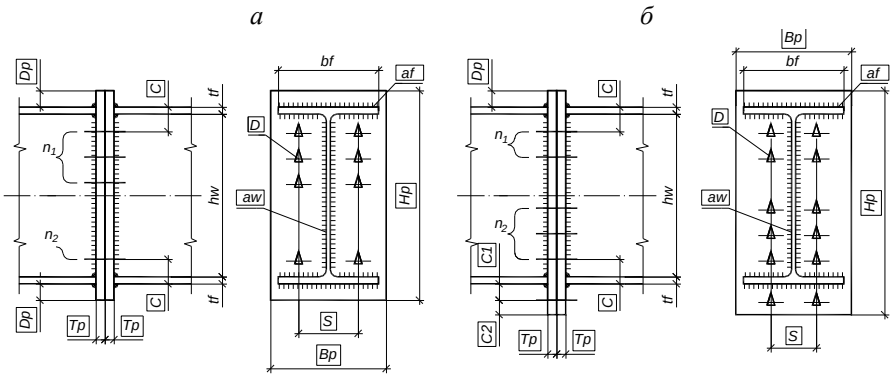


Рис. 10.4.3-3. Примеры типов фланцевых стыков балок с нерегулярным размещением высокопрочных болтов вдоль стенки балки.

Данный режим охватывает широкий спектр конструктивных решений монтажных узлов балок:

- стыки балок на накладках с использованием обычных болтовых соединений на болтах нормальной и повышенной точности и соединения на высокопрочных болтах (рис. 10.4.3-1);
- фланцевые стыки балок различной конфигурации на высокопрочных болтах (рис. 10.4.3-2);
- фланцевые стыки балок различной конфигурации на высокопрочных болтах с нерегулярным их размещением вдоль стенок балок (рис. 10.4.3-3).

Монтажный стык балок на накладках имеет перед фланцевыми стыками то преимущество, что точность изготовления конструкций может быть пониженной. Однако он обычно требует использования гораздо большего количества болтов по сравнению со стыками на фланцах, что определяет сравнительно большую трудоемкость монтажа конструкций. Кроме того, соединение на накладках связано с ослаблением сечения соединяемых элементов отверстиями, что ведет в некоторых случаях к увеличению расхода стали на основные элементы конструкции.

Необходимо заметить, что автоматизированный расчет стыков балок на накладках предусматривает, что размеры поперечного сечения накладок, при помощи которых перекрывается стык балок, принимаются максимально приближенными к размерам поперечного сечения балки. Речь идет как о толщинах накладок, так и об их линейных размерах (в частности, о высоте накладки на стенках балок и ширине накладок на полках балок). В программе не учтены дополнительные напряжения от концентраций напряжений, которые

могут возникнуть в том случае, если высоту накладки на стенках балок принять меньшей, чем расчетная высота стенки балки.

Фланцевые стыки чаще всего стремятся запроектировать таким образом, чтобы габариты фланца по высоте практически соответствовали высоте балки (см. рис. 10.4.3-2, *а*). Если изгибающий момент, действующий в стыке балок, трудно воспринять болтами, расположенными между полками балок, то возникает необходимость в использовании конструктивных решений с выносными рядами болтов, которые увеличивают габарит фланца вниз (см. рис. 10.4.3-2, *б*, *г*) или вверх (см. рис. 10.4.3-2, *в*, *д*) в зависимости от преобладающего знака момента. При значительных знакопеременных моментах используются конструктивные решения фланцевых стыков с выносными болтами по обе стороны балки (см. рис. 10.4.3-2, *е*, *ж*).

При работе этого режима в соответствии с EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005 выполняются следующие проверки:

- прочности накладок и фланцев;
- прочности болтовых и сварных соединений, присутствующих в узле;
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

Главное окно режима **Стыки балок** включает следующие страницы: **Материалы** (рис. 10.4.3-4, рис. 10.4.3-5), **Соединения** (рис. 10.4.3-6), **Усилия** (рис. 10.4.3-7), **Конструкция** (рис. 10.4.3-8, 10.4.3-9), **Чертеж** (10.4.3-9) и **Кривые взаимодействия** (10.4.3-11).

Работа в режиме **Стыки балок** начинается с назначения материалов, используемых в соединении балок. Определить класс стали для стыкуемых балок можно в диалоговом окне **Сталь**, которое становится доступным после нажатия кнопки **Сталь балки** на странице **Материалы** (рис. 10.4.3-4). Кроме того, в этом режиме предусмотрена также возможность задать классы стали для фланцев и накладок в рассматриваемых узлах, что осуществляется нажатием кнопок **Сталь фланцев** и **Сталь накладок** соответственно. Детальное описание функциональных возможностей режима выбора стали работы приводится в п. 10.3.1.

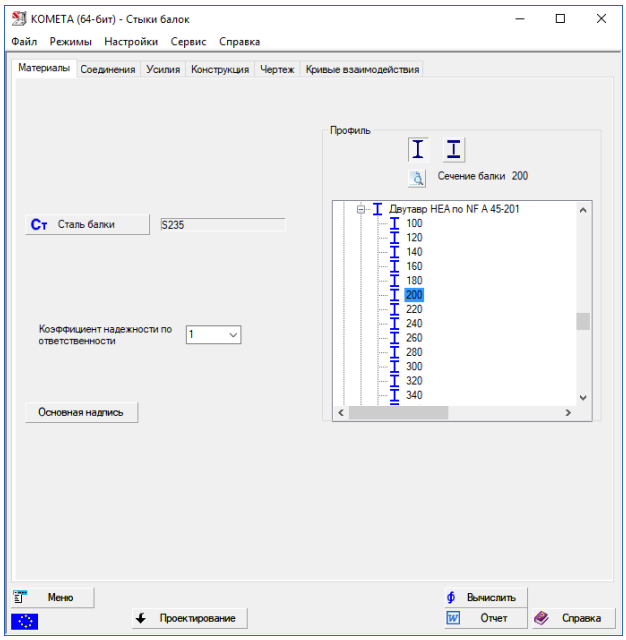


Рис. 10.4.3-4. *Страница* **Материалы** *режима* **Стыки балок** (для поперечного сечения балки выбран прокатный двутавр)

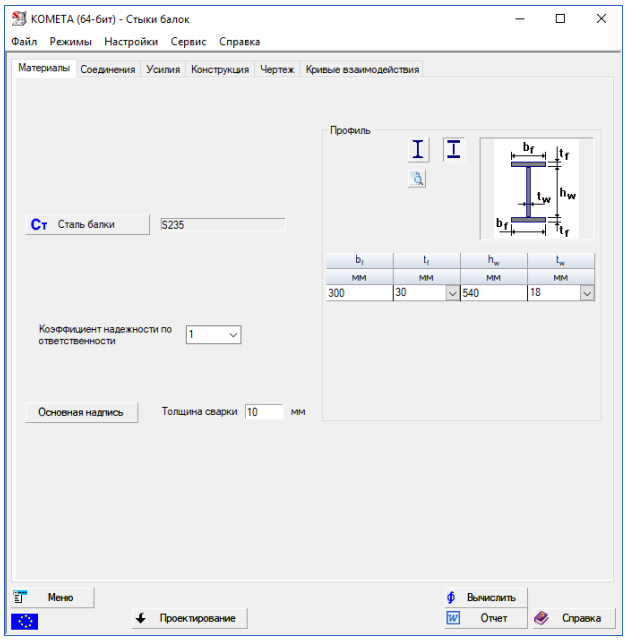


Рис. 10.4.3-5. *Страница* **Материалы** *режима* **Стыки балок** (для поперечного сечения балки выбран сварной двутавр)

Элементы управления, объединенные в группу **Профиль**, предназначены для определения типа и

размеров поперечных сечений стыкуемых балок. В режиме **Стыки балок** предусмотрены два типа сечения балок: прокатный или сварной двутавр. Выбор типа сечения осуществляется нажатием соответствующих кнопок (или). В соответствии со сделанным выбором изменяется интерфейс правой части страницы **Материалы** (рис. рис. 10.4.3-4, рис. 10.4.3-5). Для прокатного двутавра, выбранного в качестве типа поперечного сечения балки, в древовидном списке необходимо определить сортамент и номер профиля в данном сортаменте. Если же в качестве типа сечения балки выбран сварной двутавр, необходимо определить размеры поперечного сечения балки: высоту h_w и толщину t_w стенки балки, ширину b_f и толщину t_f полки балки. Толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающих списков, в которых содержатся сортаментные размеры листовой стали.

Обеспечена возможность графического контроля заданного поперечного сечения балки в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения стыка балок. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

Страница **Соединения** (рис. 10.4.3-6) предназначена для ввода информации относительно особенностей сварных и болтовых соединений стыков балок. В частности, класс болтов и тип отверстия под болты определяются в выпадающих списках **Класс болтов** и **Тип отверстия,** соответственно. При выборе кнопки-маркера **Высокопрочные болты** предусмотрена возможность использования болтовых соединений на высокопрочных болтах классов 8.8 и 10.9 с регулируемым усилием натяжения в режиме **Стыки балок**. При этом в выпадающем списке **Класс болтов** будут доступными для выбора только два класса болтов – 8.8 и 10.9.

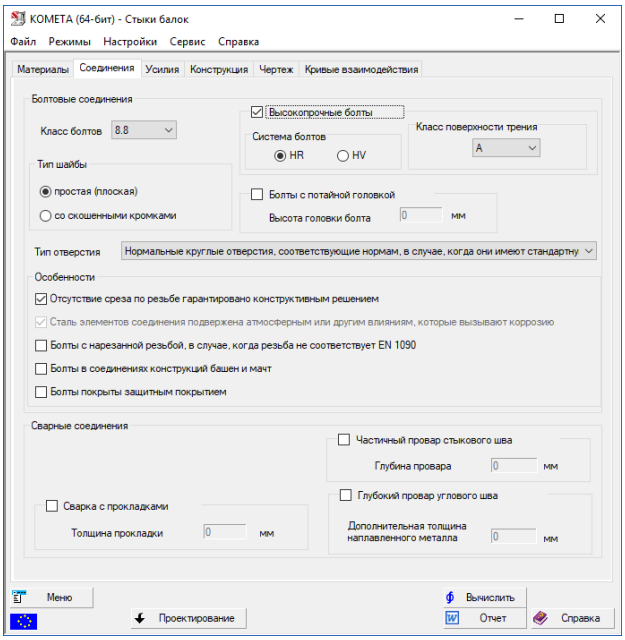


Рис. 10.4.3-6. *Страница* **Соединения** *режима* **Стыки балок**

Отдельно в соответствующем выпадающем списке необходимо задать класс поверхности трения. Тип шайбы в болтовых соединениях задается с помощью соответствующих кнопок выбора (простая (плоская) или же со скошенными кромками). Предусмотрена возможность учета особенностей болтовых соединений при использовании болтов с потайной головкой с помощью выбора кнопки-маркера **Болты с потайной головкой** и задания в соответствующем поле ввода высоты головки болта (см. рис. 10.4.3-6).

Для сварных соединений узлов стыков балок на стыковых сварных швах может быть учтен их частичный провар с помощью выбора кнопки-маркера **Частичный провар стыкового шва** и задания в соответствующем поле ввода глубины провара. Для сварных соединений узлов стыков балок на угловых сварных швах также может быть учтен их глубокий провар с помощью выбора кнопки-маркера **Глубокий провар углового шва** и задания в соответствующем поле ввода дополнительной толщины наплавленного металла (см. рис. 10.4.3-6).

Кнопки-маркеры, объединенные в группу **Особенности**, позволяют задать особенности сталей элементов соединений, в частности, в тех случаях, когда сталь принята согласно EN 10025-5 или же подвержена атмосферным влияниям, или же другим влияниям, вызывающим коррозию. Кроме того,

предусмотрена возможность учесть особенности болтовых соединений в тех случаях, когда резьба болтов не соответствует EN 1090-1:2009, или же болты в соединении покрыты защитным покрытием, или же болтовые соединения устроены в конструкциях башен и мачт.

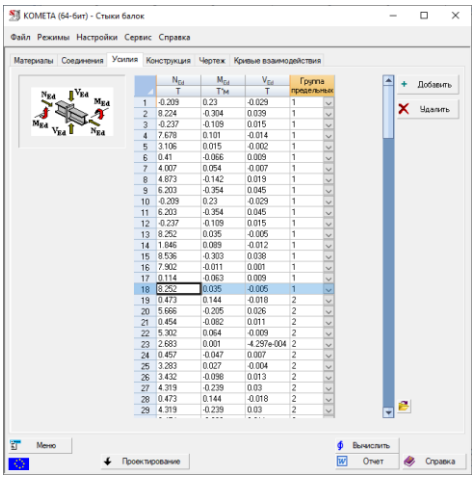


Рис. 10.4.3-7. *Страница* **Усилия** *режима* **Стыки балок**

На странице **Усилия** (рис. 10.4.3-7) задаются внутренние усилия, действующие в стыке балок: продольное усилие N_{Ed}, изгибающий момент M_{Ed} и соответствующая ему поперечная сила V_{Ed}. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей расчетной комбинации нагрузок.

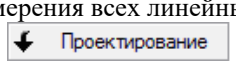
При этом, в таблице задания значений внутренних усилий для одной или нескольких расчетных комбинаций нагрузок предусмотрен дополнительный столбец **Группа предельных состояний**, в котором необходимо определить группу предельных состояний текущей комбинации нагрузок (первая или вторая).

Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицами измерения продольных и поперечных усилий приняты тонны, изгибающих моментов – тонны×метры. Положительное направление внутренних усилий принимается по рисунку, приведенному слева от таблицы усилий.

Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется по нажатии кнопки . Отметим, что при создании в **SCAD** файла **.rsu2** следует предварительно оставить в таблице расчетных сочетаний только те комбинации, которые соответствуют сечению стержневого элемента, примыкающего к проектируемому узлу.

Страница **Конструкция** содержит кнопки, объединенные в группу **Тип узла**, которые предназначены для выбора конструктивного решения узла стыка балок (рис. 10.4.3-8, 10.4.3-9). В том случае, когда пользователю необходимо выполнить расчет или проектирование фланцевых стыков балок с неравномерным распределением болтов, он может воспользоваться группой элементов интерфейса **Размещение болтов относительно балки**, в которой предусмотрена возможность задать равномерное или неравномерное распределение болтов вдоль стенки (рис. 10.4.3-9), а также выбрать конструктивное решение стыка с дополнительным рядом болтов вдоль полок (как правило, растянутых) балки.

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла стыка балок необходимо задать все расчетные параметры узла. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры болтов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Расчетные параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице справа. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров являются миллиметры.

При нажатии кнопки 

появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла, и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор конструктивного решения стыка балок совершается на базе анализа его

чувствительности по отношению к варьированию *управляемых* параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 8.2). В качестве управляемых параметров конструкций узлов стыков балок были выбраны: диаметр болтов и количество рядов болтов – для монтажных стыков балок на накладках, а также диаметр болтов, толщина фланца и количество рядов болтов – для монтажных стыков балок на фланцевых соединениях.

При нажатии кнопки

программа в соответствии с требованиями норм выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к рассматриваемому узлу (балок), конструктивных элементов стыка (накладок, фланцев, ребер, ужесточающих фланец и т.д.), а также сварных и болтовых соединений в стыке при заданных (или ранее подобранных) значениях параметров узла.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения стыка балок стадии КМ.

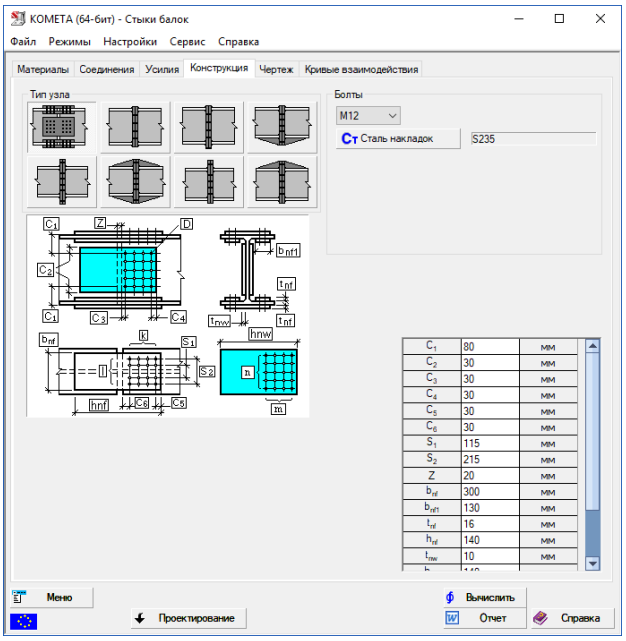


Рис. 10.4.3-8. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок** (выбран стык балок на накладках)

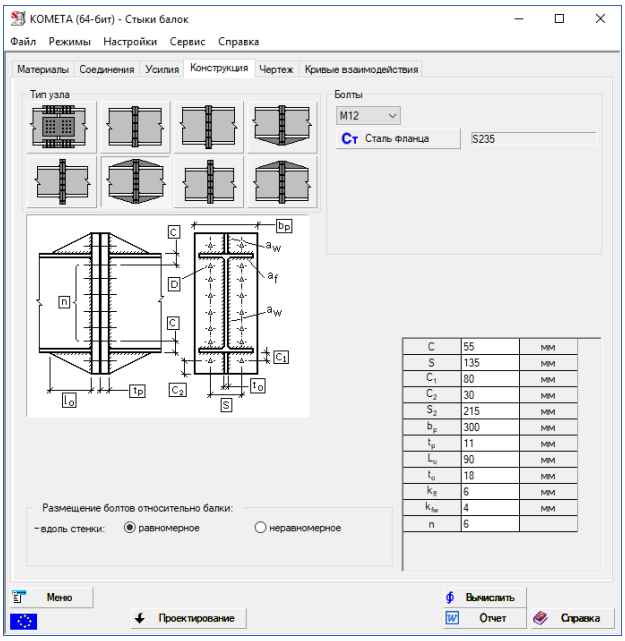


Рис. 10.4.3-9. *Страница* **Конструкция** *режима* **Стыки балок** (выбран фланцевый стык балок)

Используя кнопку **Факторы** в специальном диалоговом окне **Диаграмма факторов** можно ознакомиться со значениями всех других коэффициентов использования ограничений. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений узлов стыков балок представлен в табл. 10.4.3-1.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 10.4.3-10) выполняется проверка узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

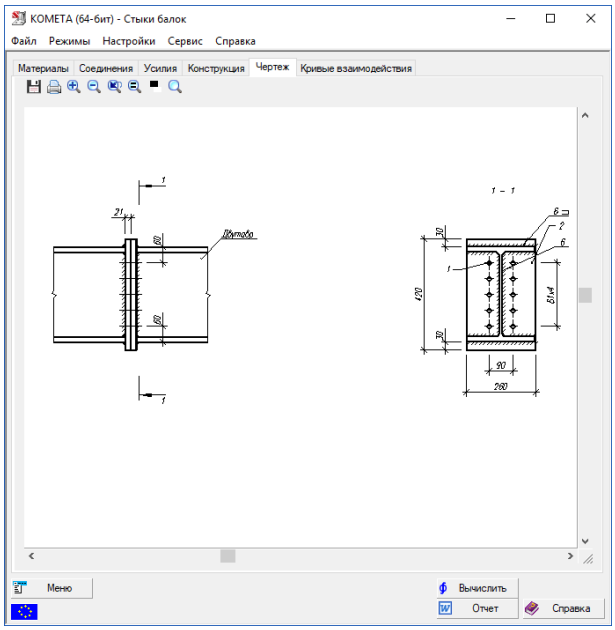


Рис. 10.4.3-10. *Страница* **Чертеж** *режима* **Стыки балок**

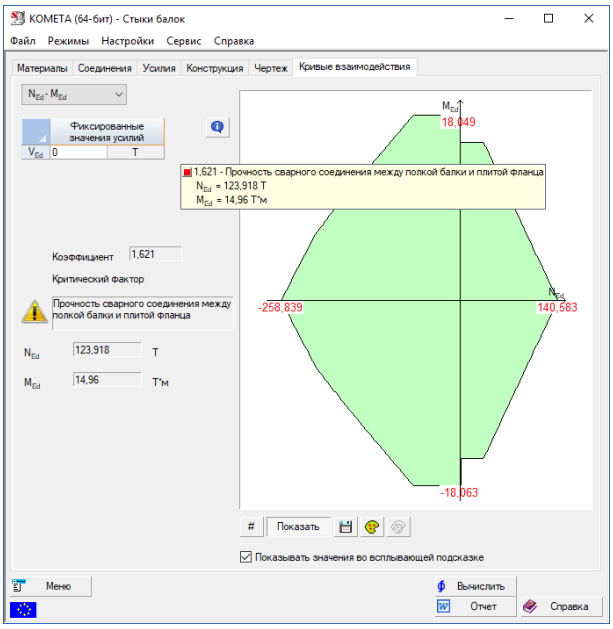


Рис. 10.4.3-11. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Стыки балок**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.3-11) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла стыка балок при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающем к стыку сечении балки. Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла стыка балок. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, соответствующих текущему положению курсора на области построения кривой взаимодействия.

Табл. 10.4.3-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов стыков балок при проектировании по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Прочность накладок на полках балок при растяжении	рис. 10.4.3-1		п. 6.2.3, (6.5)
Прочность накладок на полках балок при сжатии	рис. 10.4.3-1		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность болтов в соединении накладок и полок балок на срез	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность высокопрочных болтов в соединении накладок и полок балок при присутствии сил трения	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтов в соединении накладок и полок балок на смятие	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность болтов в соединении накладок и стенки балок на срез	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность высокопрочных болтов в соединении накладок и стенки балок при присутствии сил трения	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтов в соединении накладок и стенки балок на смятие	рис. 10.4.3-1	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Прочность накладок на стенках балок на срез	рис. 10.4.3-1		п. 6.2.6, (6.12)
Изгибная прочность узла	рис. 10.4.3-2	п. 6.2.5.1, (6.23)	
Прочность сварного соединения между стенкой балки и плитой фланца	рис. 10.4.3-2	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Прочность сварного соединения между полкой балки и плитой фланца	рис. 10.4.3-2	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность болтового соединения между фланцами на срез	рис. 10.4.3-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения на высокопрочных болтах между фланцами при присутствии сил трения	рис. 10.4.3-2	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцами на смятие	рис. 10.4.3-2	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Прочность сечения балки, ослабленного отверстиями, на действие поперечной силы	рис. 10.4.3-1, 10.4.3-2		п. 6.2.6, (6.12)
Прочность сечения балки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента	рис. 10.4.3-1, 10.4.3-2		п. 6.2.5, (6.10)
Прочность сечения балки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и поперечной силы	рис. 10.4.3-1, 10.4.3-2		п. 6.2.8, (6.25)
Прочность сечения балки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и продольной силы	рис. 10.4.3-1, 10.4.3-2		п. 6.2.9.1, (6.26)
Прочность сечения балки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента, поперечной и продольной сил	рис. 10.4.3-1, 10.4.3-2		п. 6.2.10
Примечания: см. *Примечания* табл. 10.4.1-1.			

10.4.4 Узлы ферм

Режим **Узлы ферм** предназначен для проектирования и экспертизы конструктивных решений узлов ферм, стержни которых выполнены из спаренных уголков или прямоугольных (квадратных) труб. В режиме реализован широкий набор типов узлов, а именно:

- соединения элементов решетки с поясом фермы (рядовые узлы) (рис. 10.4.4-1, 10.4.4-2);
- узлы смены сечения пояса по длине (рис. 10.4.4-4);
- монтажные узлы ферм (рис. 10.4.4-5);
- опорные узлы ферм (рис. 10.4.4-3, 10.4.4-6).

При работе этого режима в соответствии с EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005 выполняются следующие проверки:

- прочности конструктивных элементов (накладок, опорных ребер (фланцев), узловых и опорных фасонок);
- прочности сварных соединений (крепления элементов решетки и пояса к узловым фасонкам, крепление накладок к поясам в узлах смены сечения пояса и в монтажных узлах, крепления

опорной фасонки к опорному ребру (фланцу) в опорных узлах фермы);

- прочности болтовых соединений (крепление опорного ребра (фасонки) к опорной конструкции);
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

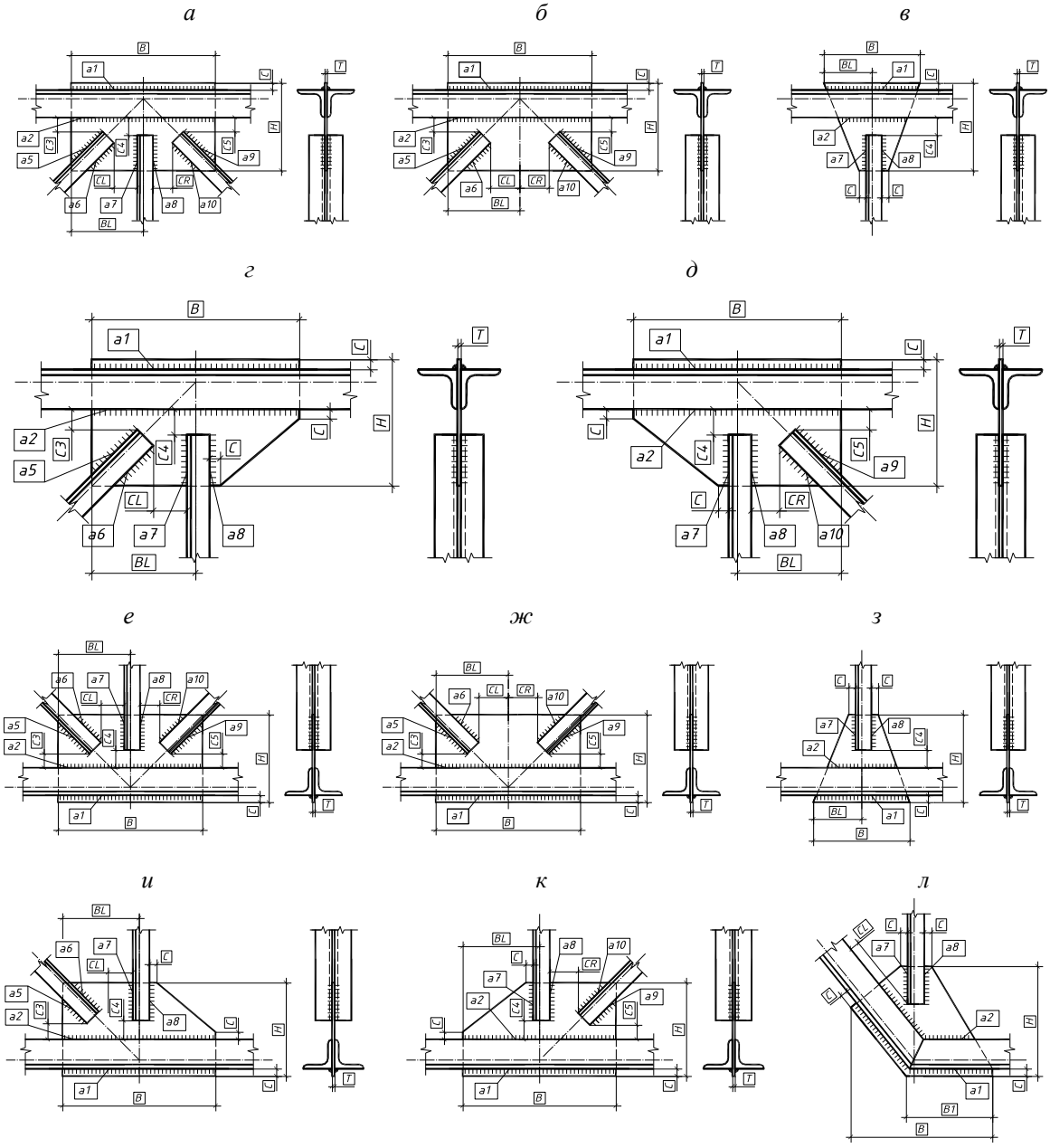


Рис. 10.4.4-1. Рядовые узлы ферм из спаренных уголков: *а* - *д* – узлы верхнего пояса; *е* - *л* – узлы нижнего пояса

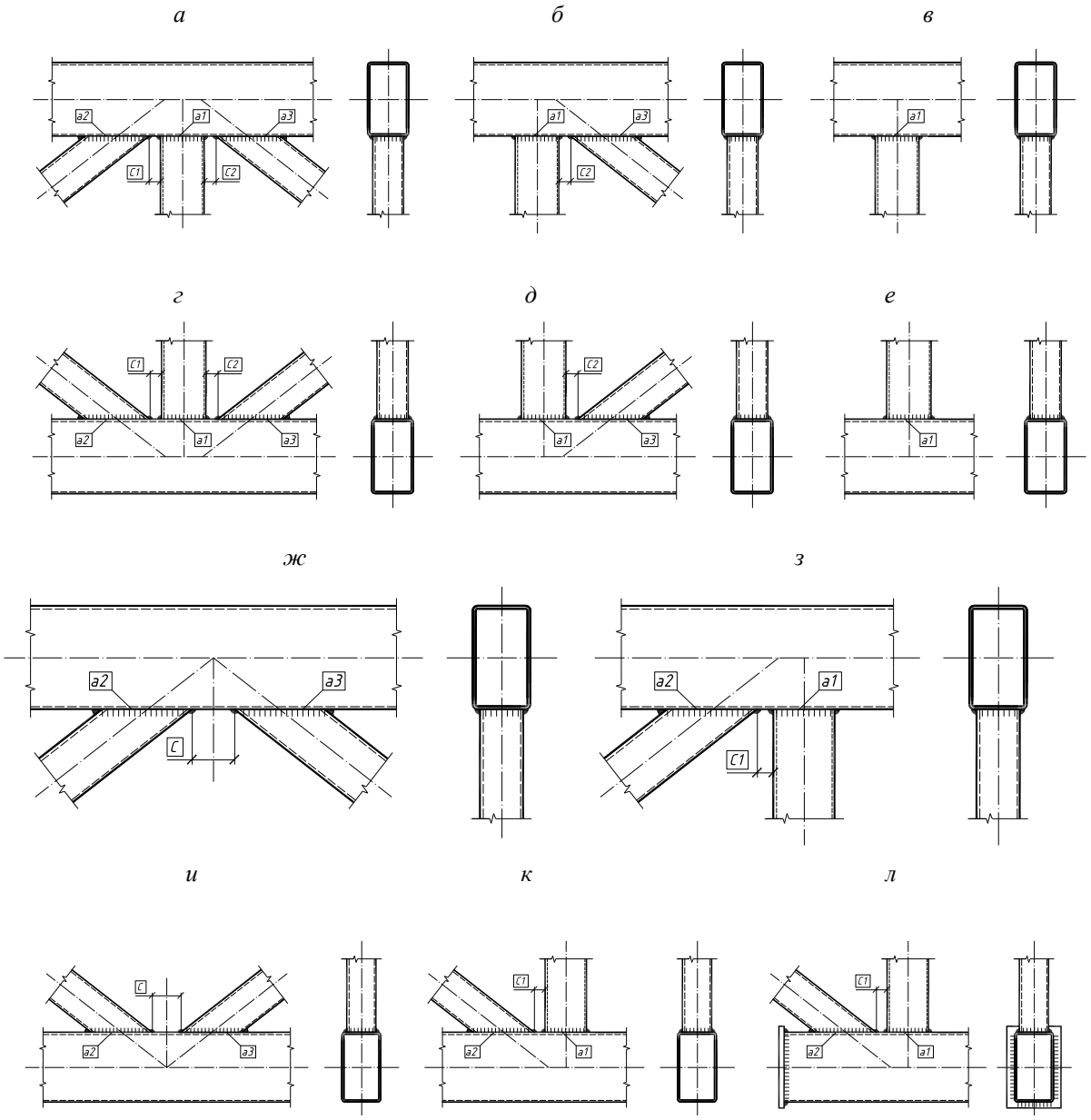


Рис. 10.4.4-2. Рядовые узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб:
а, *б*, *в*, *ж*, *з* – узлы верхнего пояса; *г*, *д*, *е*, *и*, *к*, *л* – узлы нижнего пояса

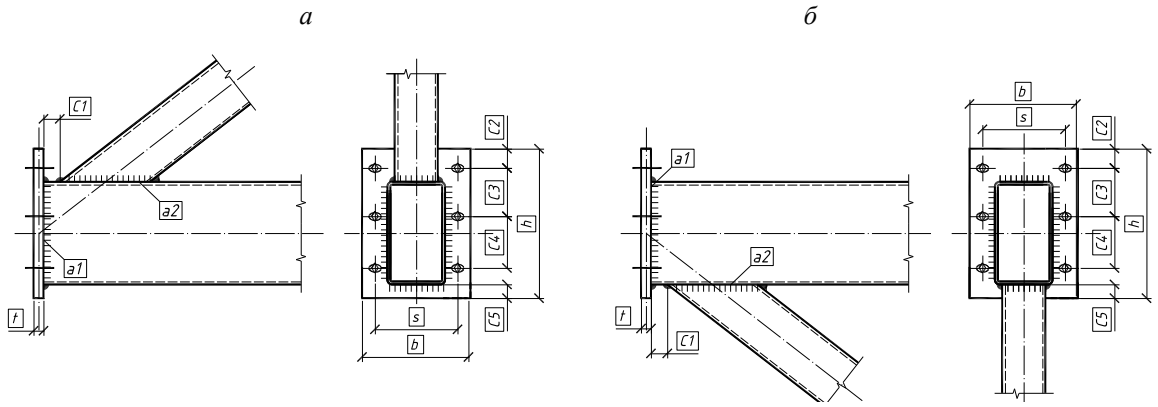


Рис. 10.4.4-3. Опорные узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб

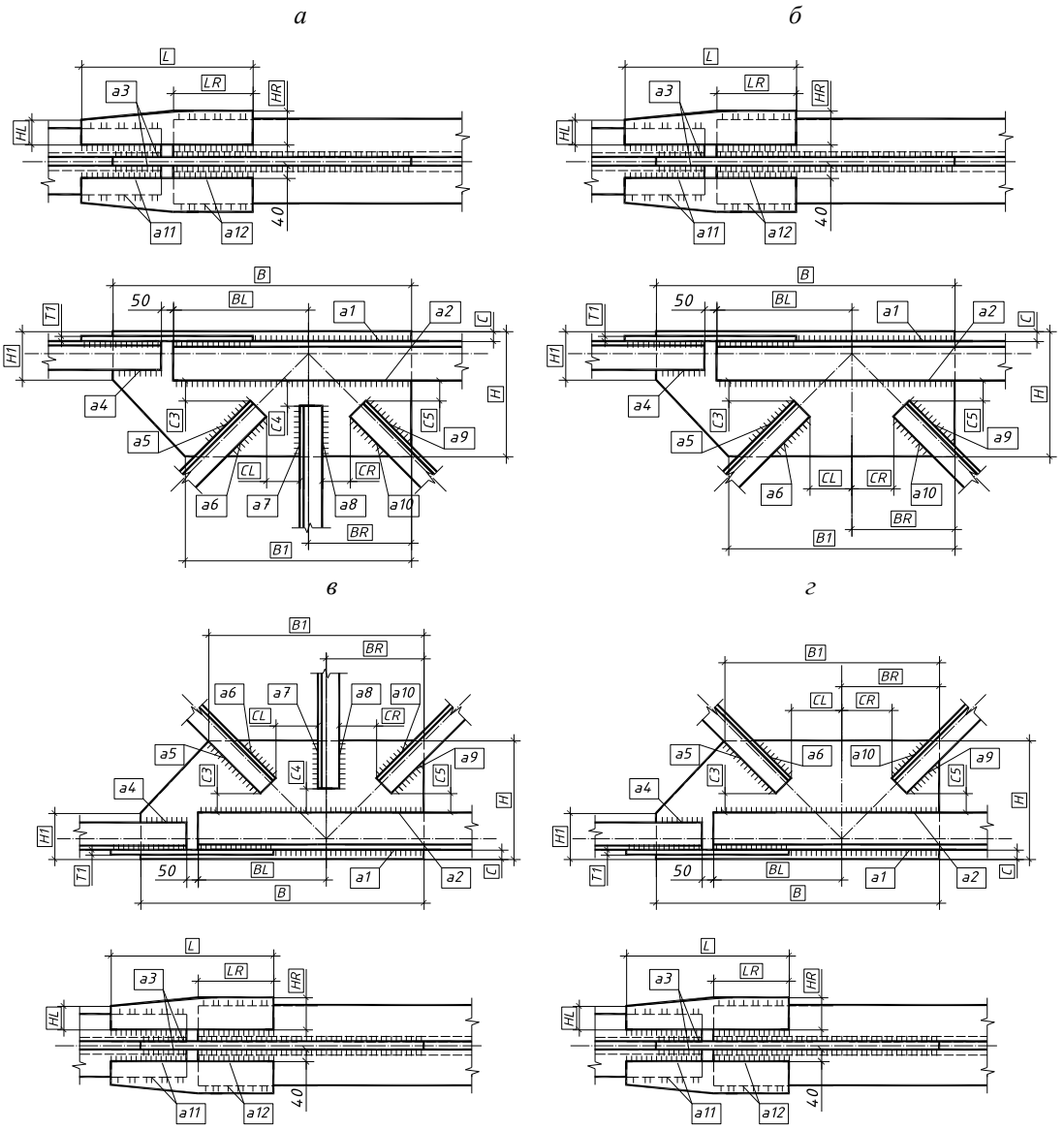
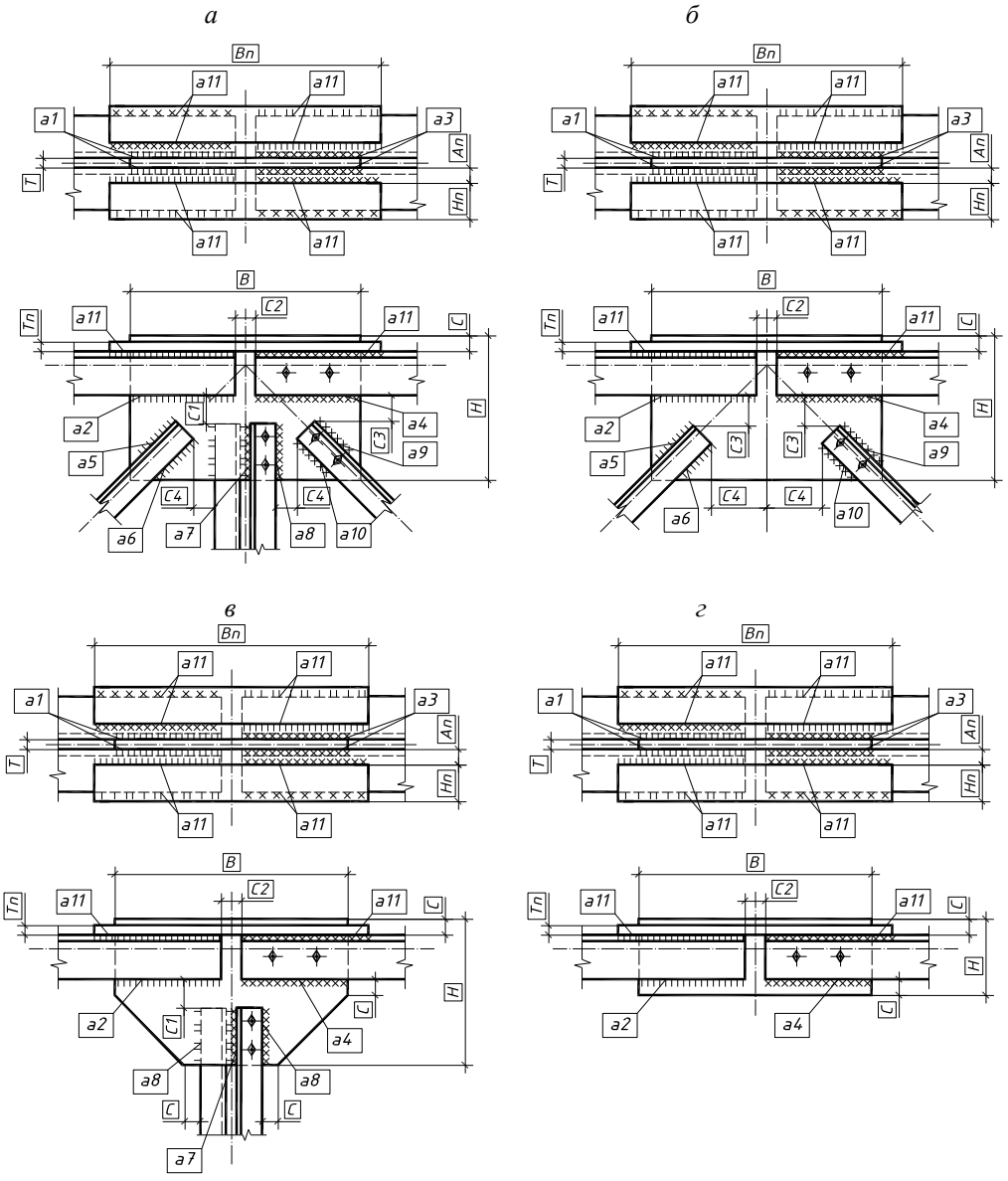


Рис. 10.4.4-4. Узлы смены сечения пояса по длине в фермах из спаренных уголков


а
б
в
г
Вп
а11
а1
а3
Ап
Т
Нп
В
С2
Тп
С
а2
С1
а4
С3
а9
а5
С4
а6
а7
а8
а10
Н

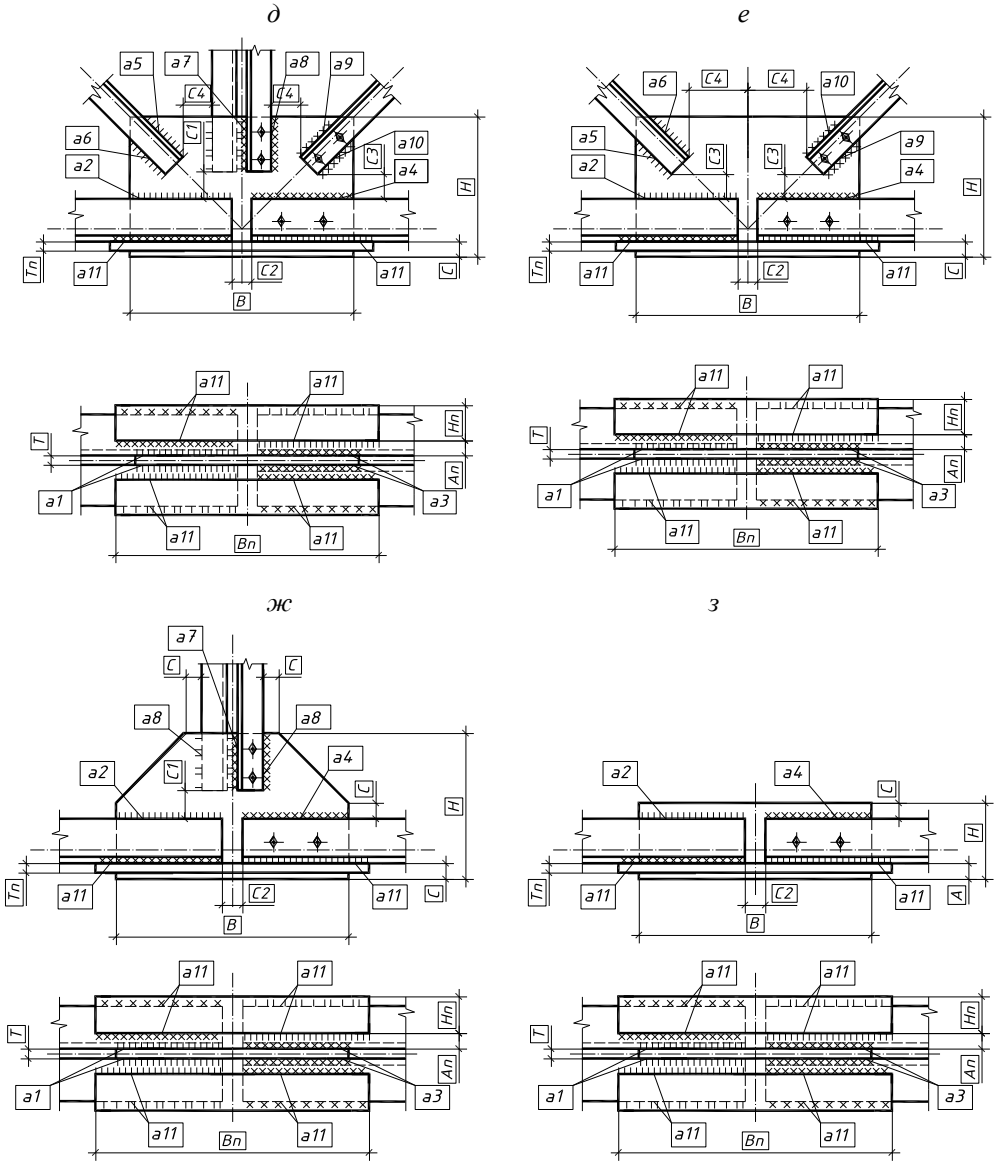


Рис. 10.4.4-5. Монтажные узлы в фермах из спаренных уголков

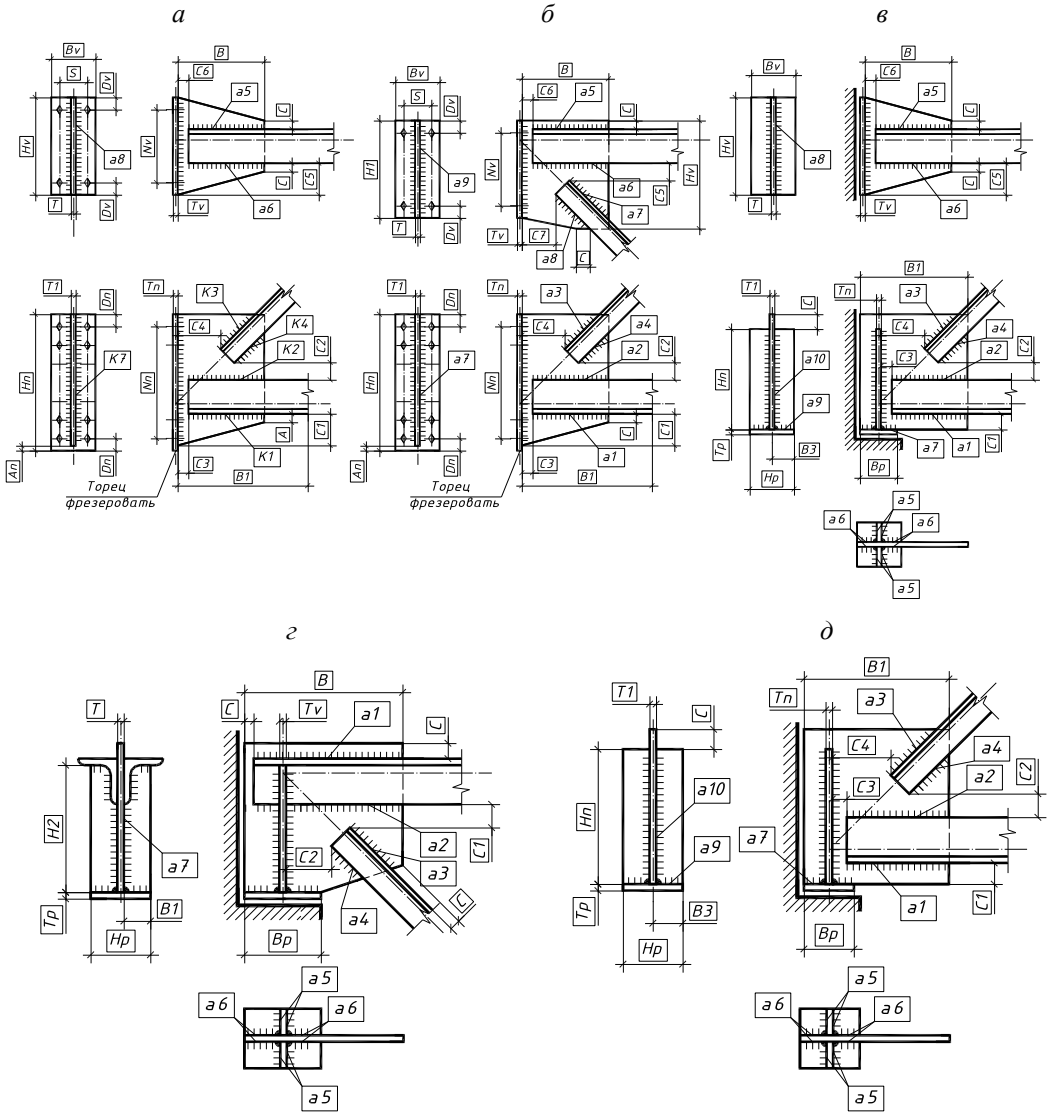


Рис. 10.4.4-6. Опорные узлы ферм из спаренных уголков

Главное окно режима **Узлы ферм** включает следующие страницы: **Вид узла** (рис. 10.4.4-7), **Материалы** (рис. 10.4.4-8), **Усилия** (рис. 10.4.4-9), **Элементы узла** (рис. 10.4.4-10), **Конструкция** (рис. 10.4.4-11), **Чертеж** (рис. 10.4.4-12) и **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.4-13).

На странице **Вид узла** (рис. 10.4.4-7) расположены кнопки, позволяющие пользователю выбрать тип узла фермы (**Рядовой узел**, **Смена сечения**, **Монтажный узел** или **Опорный узел**), а также задать его конфигурацию. Тип поперечного сечения стержневых элементов фермы задается нажатием на соответствующие кнопки в группе **Конструктивное решение**.

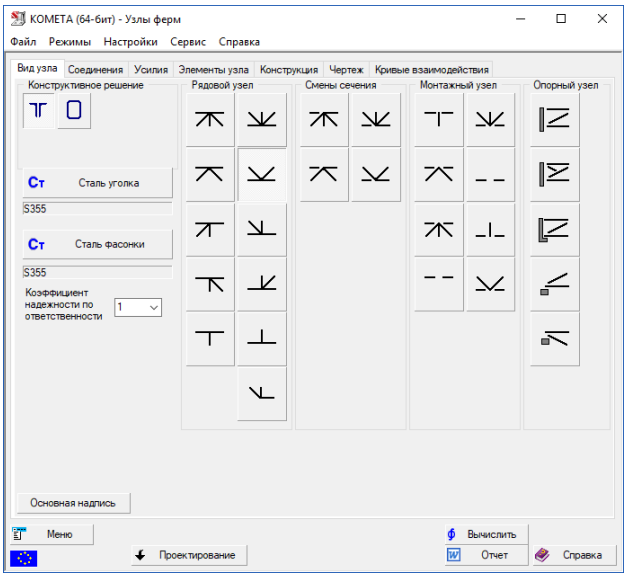


Рис. 10.4.4-7. *Страница* **Вид узла** *режима* **Узлы ферм**

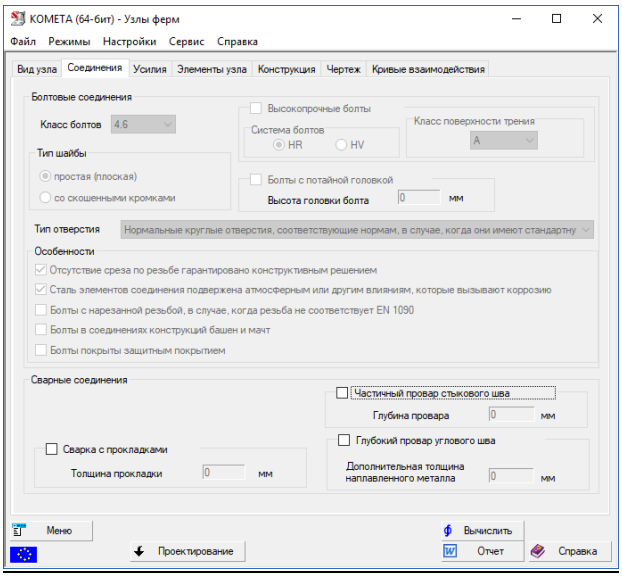


Рис. 10.4.4-8. *Страница* **Соединения** *режима* **Узлы ферм**

На этой же странице задаются материалы, используемые для конструктивного оформления узла фермы из спаренных уголков или из труб. Выбрать марку стали для этих элементов можно в диалоговом окне **Сталь**, которое становится доступным после нажатия кнопок **Сталь уголка** и **Сталь фасонки**. Принципы работы в режиме **Сталь** описаны в п. 10.3.1.

Кроме того, на странице **Вид узла** (рис. 10.4.4-7) расположена кнопка **Основная надпись**, предназначенная для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения узла фермы. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

На странице **Усилия** (рис. 10.4.4-9) задаются продольные усилия $N_{Ed,i}$, действующие в стержневых элементах узла фермы. При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицами измерений продольных усилий приняты тонны. Правило знаков усилий принимается по рисунку, приведенному сбоку от таблицы усилий, на котором указано их положительное направление.

На странице **Элементы узла** (рис. 10.4.4-10) необходимо определить генеральные размеры (ширина и высота) панелей, соседствующих с проектируемым узлом фермы (параметры a, b, c и d). По умолчанию единицами измерений размеров панелей фермы приняты метры. В группе **Сечение** задаются поперечные сечения элементов, которые соединяются в данном узле, а также их ориентация относительно плоскости фермы.

С помощью кнопок **Тип сечения** можно выбрать:

- сечение из спаренных равнополочных уголков или из спаренных неравнополочных уголков, большая полка которых ориентирована перпендикулярно плоскости фермы;
- сечение из спаренных равнополочных уголков или из спаренных неравнополочных уголков, большая полка которых ориентирована параллельно плоскости фермы;
- сечение из равнополочных уголков, расположенных крестиком, которое используется для стоек монтажного узла;

сечение из прямоугольной трубы, большая сторона которой ориентирована параллельно плоскости фермы;

сечение из прямоугольной трубы, большая сторона которой ориентирована перпендикулярно плоскости фермы.

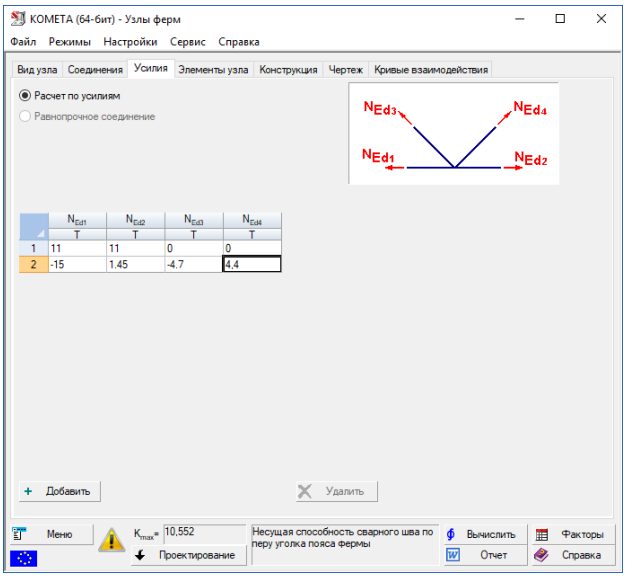


Рис. 10.4.4-9. *Страница* **Усилия** *режима* **Узлы ферм**

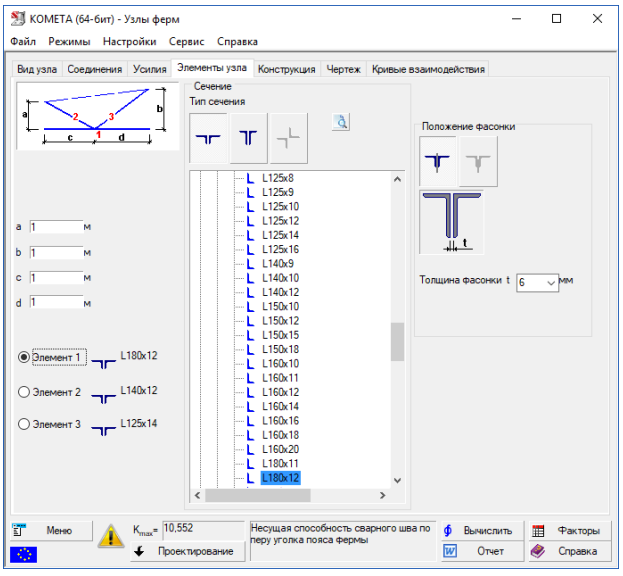
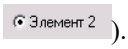


Рис. 10.4.4-10. *Страница* **Элементы узла** *режима* **Узлы ферм**

Попутно заметим, что набор кнопок **Тип сечения** зависит от конструктивного решения узла, определенного на странице **Вид узла** в группе **Конструктивное решение**.

Каждому элементу узла фермы присваивается номер (например, 

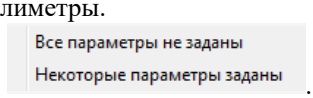
). Для назначения профилей элементам узла следует активировать маркер элемента и выбрать профиль из списка сортаментов металлопроката. Возможность графического контроля заданных поперечных сечений элементов узла фермы предусмотрена в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

В группе **Положение фасонки** необходимо нажатием соответствующих кнопок определить положение фасонки. Толщина фасонки выбирается из одноименного выпадающего списка, где представлен набор толщин, соответствующий сортаменту листовой стали.

На странице **Конструкция** (рис. 10.4.4-11) в информационном окне приводится эскиз проектного решения узла фермы.

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла фермы необходимо задать все расчетные параметры узла. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, катеты сварных швов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, диаметры болтов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Расчетные параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Конструкция** слева. Катеты угловых сварных швов вводятся в таблице, расположенной в нижней части диалогового окна. По умолчанию единицами измерения всех линейных размеров приняты миллиметры.

При нажатии кнопки

появляется выпадающее меню 

. Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые***

параметры заданы, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

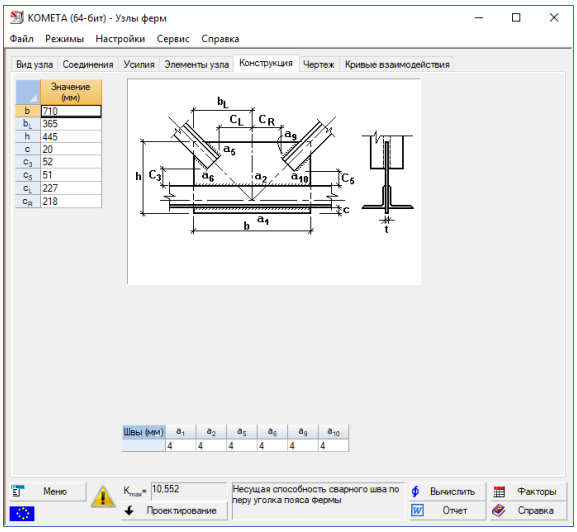


Рис. 10.4.4-11. *Страница* **Конструкция** *режима* **Узлы ферм**

При нажатии кнопки

программа в соответствии с требованиями норм выполняет проверку несущей способности сечений элементов ферм, примыкающих к рассматриваемому узлу, конструктивных элементов узла (накладок, фланцев, опорных ребер, опорных фланцев и т.д.), а также сварных и болтовых соединений в узле при заданных (или ранее подобранных) значениях его параметров.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла фермы стадии КМ.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 10.4.4-12) выполняется проверка узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

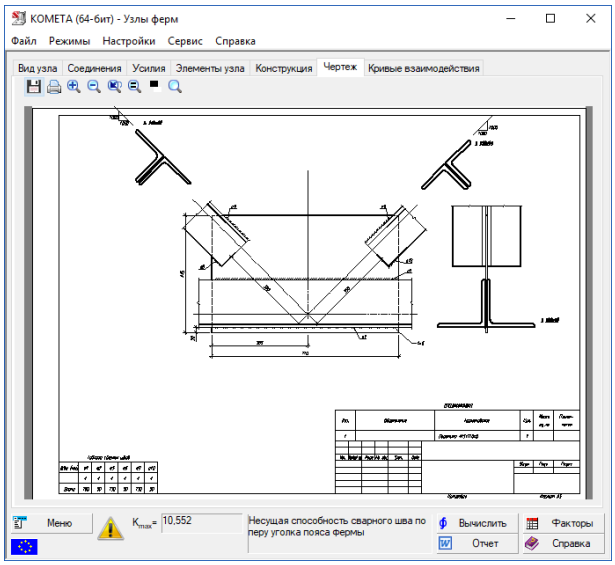


Рис. 10.4.4-12. *Страница* **Чертеж** *режима* **Узлы ферм**

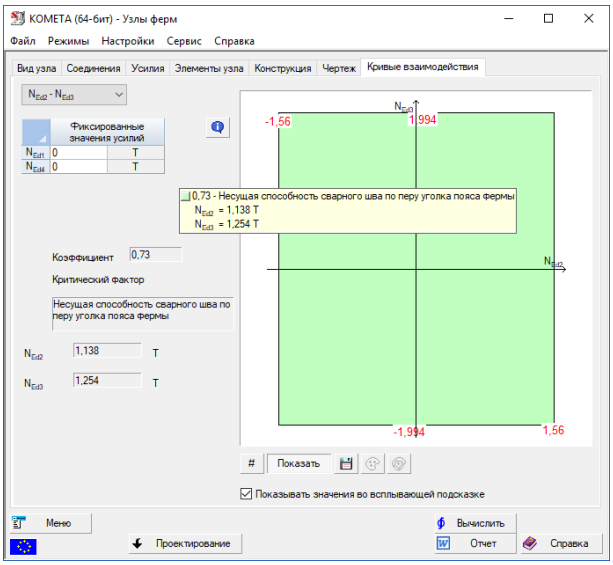


Рис. 10.4.4-13. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Узлы ферм**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.4-13) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла фермы при действии в

нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающих к узлу элементах фермы. Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла фермы. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на построенной области кривой взаимодействия.

Полный перечень проверок и значения соответствующих коэффициентов использования ограничений доступен по нажатию кнопки **Факторы**. В табл. 10.4.4-1 представлен список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов ферм.

Табл. 10.4.4-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов ферм

Название фактора	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Узлы ферм из спаренных уголков:		
Несущая способность сварного шва по перу уголка левого раскоса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по перу уголка правого раскоса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по перу уголка стойки фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по перу уголка пояса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по обушку уголка левого раскоса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по обушку уголка правого раскоса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по обушку уголка стойки фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность сварного шва по обушку уголка пояса фермы	пп. 4.5.3.2, 4.5.3.3	
Несущая способность фасонки (в предположении распределения усилия под углом 30°)		п. 6.2.4
Несущая способность фасонки на вырывание с использованием модели на основе пластических деформаций		п. 6.2.3(2)
Узлы ферм из прямоугольных (квадратных) труб:		
Несущая способность узла из условия разрушения лицевой грани пояса для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия выпучивания боковой стенки пояса для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения элемента решетки для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	

Название фактора	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность узла по условию продавливания на срез для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по приведенным напряжениям для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по нормальным напряжениям для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла по первому критерию прочности	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла по второму критерию прочности	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения лицевой грани пояса для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия выпучивания боковой стенки пояса для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения элемента решетки для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла по условию продавливания на срез для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по приведенным напряжениям для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по нормальным напряжениям для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения лицевой грани пояса для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия выпучивания боковой стенки пояса для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	

Название фактора	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность узла из условия разрушения элемента решетки для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла по условию продавливания на срез для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по приведенным напряжениям для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность сварного соединения по нормальным напряжениям для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения пояса при действии поперечной силы для левого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения пояса при действии поперечной силы для правого раскоса	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения пояса при действии поперечной силы для стойки	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	
Несущая способность узла из условия разрушения пояса при действии поперечной силы в поясе	п. 7.4, (7.3), табл. 7.1…7.6 п. 7.5, (7.4) табл. 7.8…7.15	

10.4.5 Сопряжение ригеля с колонной

Режим **Сопряжение ригеля с колонной** предназначен для проектирования и оценки несущей способности конструктивных решений узлов сопряжений ригелей с колонной. По условиям восприятия действующих на узел усилий и по возможности взаимного поворота ригеля относительно колонны рассматриваемые узлы подразделяются на следующие типы:

- жесткие, обеспечивающие практическую неподвижность ригеля относительно колонны (рис. 10.4.5-1);
- шарнирные, которые практически не препятствуют повороту ригеля относительно колонны (рис. 10.4.5-2).

На рис. 10.4.5-1 приведены реализованные в программе типы конструктивных решений жесткого сопряжения ригеля с колонной: на сварке (см. рис. 10.4.5-1, *а*) и на высокопрочных болтах (см. рис. 10.4.5-1, *б…ж*). Типы конструктивных решений сопряжений балок с колоннами, которые решены с использованием опорного фланца без опорного столика (см. рис. 10.4.5-1, *в…ж*), чаще всего проектируют как фрикционные соединения на высокопрочных болтах. Для случая, когда в узле сопряжения действует значительный изгибающий момент, величина которого превышает несущую способность ригеля, в программе предусмотрены типы конструктивных решений с вутами (см. рис. 10.4.5-1, *е, ж*).

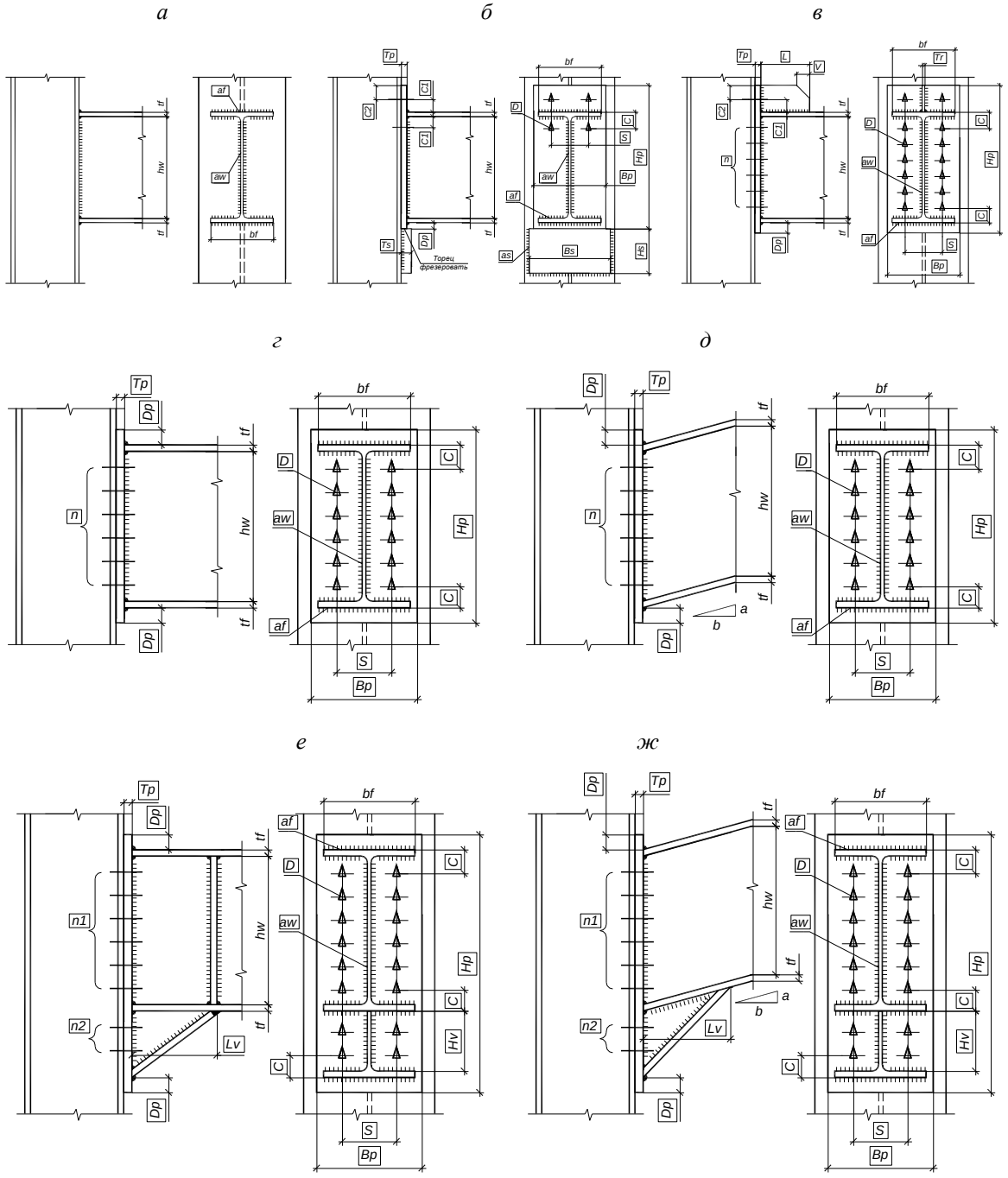


Рис. 10.4.5-1. Типы конструктивных решений жесткого сопряжения ригеля с колонной

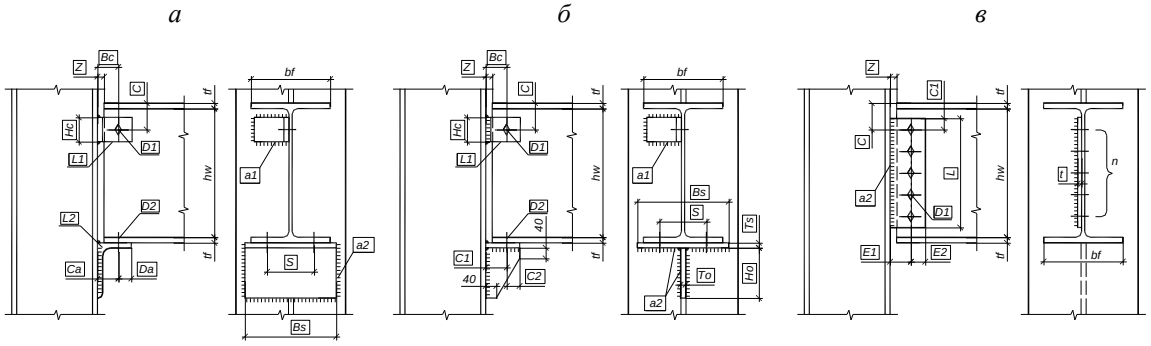


Рис. 10.4.5-2. Типы конструктивных решений шарнирного сопряжения ригеля с колонной

При работе этого режима в соответствии с EN 1993-1-8:2005 выполняются следующие проверки:

- прочности фланцев, подкрепляющих ребер и вутов;
- прочности болтовых и сварных соединений, присутствующих в узле;
- ряда конструктивных и сортаментных ограничений.

Главное окно режима **Сопряжение ригеля с колонной** включает следующие страницы: **Конфигурация** (рис. 10.4.5-3), **Соединения**, **Усилия** (рис. 10.4.5-6), **Ригель 1** (рис. 10.4.5-7), **Ригель 2** (рис. 10.4.5-8), **Чертеж** (рис. 10.4.5-9) **и Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.5-10).

Работа в режиме **Сопряжение ригеля с колонной** начинается с определения конфигурации сопряжения на странице **Конфигурация** (рис. 10.4.5-3). При сопряжении ригеля с колонной слева необходимо включить флажок (☑) возле маркера **Ригель 1**, при сопряжении ригеля с колонной справа необходимо включить флажок маркера **Ригель 2**. Для случая, когда в сопряжении присутствуют оба ригеля (слева и справа), оба маркера (**Ригель 1** и **Ригель 2**) должны быть отмечены флажками. Группа кнопок **Положение ригеля** предназначены для определения положения ригелей в сопряжении с колонной. Верхнее положение ригелей соответствует узлу сопряжения с оголовком колонны балок покрытия, а среднее положение – узлу сопряжения с колонной балок перекрытия.

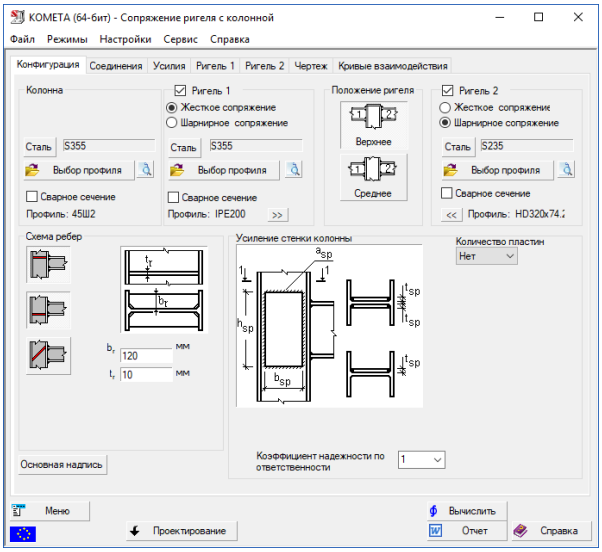


Рис. 10.4.5-3. *Страница* **Конфигурация** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной**

Группа элементов управления **Колонна** предназначена для описания типа поперечного сечения колонны и стали, которая для нее используется. Выбор стали для колонны осуществляется нажатием кнопки **Сталь**. Если тип поперечного сечения колонны является сварным двутавровым, необходимо отметить флажком маркер **Сварное сечение** и нажать кнопку **Выбор профиля**. При этом в появившемся диалоговом окне **Размеры сечения** (рис. 10.4.5-4) необходимо определить размеры поперечного сечения колонны: высоту h_w и толщину t_w стенки колонны, ширину b_f и толщину t_f полки колонны и нажать кнопку **ОК**.

Толщины полок и стенки можно ввести вручную или же выбрать из выпадающих списков, в которых содержится набор сортаментных размеров листовой стали. В случае, если тип поперечного сечения колонны является прокатным, необходимо нажать кнопку **Выбор профиля** (при этом маркер **Сварное сечение** не должен быть отмечен флажком). В древовидном списке нового диалогового окна **Выбор**

профиля (рис. 10.4.5-5) необходимо выбрать сортамент и номер профиля в данном сортаменте для сечения колонны, после чего нажать кнопку **ОК**.

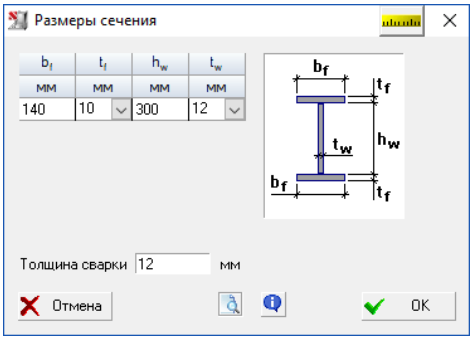


Рис. 10.4.5-4. *Диалоговое окно* **Размеры сечения**

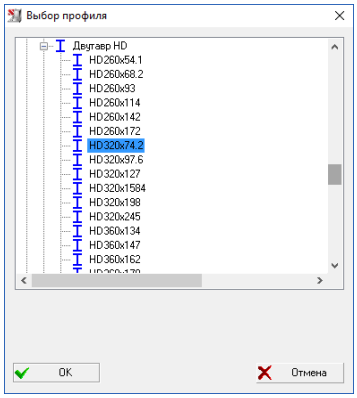
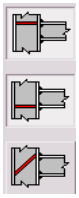


Рис. 10.4.5-5. *Диалоговое окно* **Выбор профиля**

Обеспечена возможность графического контроля заданного поперечного сечения колонны в специальном информационном окне, которое становится доступным после нажатия кнопки **Предварительный просмотр** ( ).

Аналогично определяется сталь и тип поперечного сечения для ригелей узла сопряжения, для чего предусмотрены элементы управления, объединенные в соответствующие группы (**Ригель 1** и **Ригель 2**). Кроме того, для каждого из ригелей сопряжения необходимо назначить статический тип сопряжения, что реализуется выбором соответствующих селективных кнопок: **Жесткое сопряжение** или **Шарнирное сопряжение**. Нажатие кнопки в группе **Ригель 1** приводит к тому, что тип и размеры поперечного сечения, выбранные для ригеля 1 (ригеля, расположенного слева), автоматически присваиваются ригелю 2 (ригелю, расположенному справа). При нажатии кнопки в группе **Ригель 2** тип и размеры поперечного сечения, определенные для ригеля 2, автоматически присваиваются ригелю 1.

В выпадающем спике **Коэффициент надежности по ответственности** предусмотрена возможность ввести значения соответствующего коэффициентоав надежности.



При действии значительных изгибающих моментов в узлах сопряжений ригелей с колонной часто возникает необходимость в дополнительном подкреплении стенки колонны поперечными ребрами жесткости. Схема расположения поперечных ребер жесткости в стенке колонны задается нажатием кнопок **Схема ребер**, которые отвечают за расположение ребер в уровне верхней полки балки, в уровне нижней полки балки, а также за косое расположение ребра.

Размеры ребер жесткости b_r и t_r необходимо задать в соответствующих полях ввода. В случае расчета и проектирования согласно EN 1993-1-8:2005 указанные размеры подбираются самой программой. Кроме того, предусмотрена возможность подкрепления стенки колонны пластинами, которые навариваются по контуру на стенку колонны. Количество навариваемых пластин (с одной стороны стенки колонны или с двух сторон – соответственно, одна или две пластины) задается в выпадающем списке **Количество пластин**. Размеры навариваемых пластин (высота h_{sp}, ширина b_{sp} и толщина t_{sp}), а также толщина сварного шва a_{sp} задаются пользователем в соответствующих полях ввода или же подбираются программой автоматически в случае, когда данное подкрепление выбрано, а размеры заданы равными нулю.

Нажатие кнопки **Основная надпись** обеспечивает доступ к диалоговому окну, предназначенному для заполнения штампа чертежа, который будет автоматически генерироваться после выполнения проектирования конструктивного решения соединения ригеля с колонной. Принципы работы в диалоговом окне **Основная надпись** описаны в п. 9.5.1.

Рис. 10.4.5-6. *Страница* **Усилия** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной**

На странице **Усилия** (рис. 10.4.5-6) задаются внутренние усилия, действующие в узле соединения ригеля с колонной. В общем случае в каждом сопряжении со стороны ригеля на узел действуют продольная сила N, изгибающий момент M и соответствующая ему поперечная сила Q. Заметим, что в шарнирных сопряжениях ригеля с колонной изгибающий момент M должен равняться нулю. Кроме того, в расчетных сечениях колонны действуют продольное усилие N, изгибающие моменты в обеих плоскостях M_x, M_y и соответствующие им поперечные усилия Q_y и Q_x. Усилия, действующие в расчетных сечениях колонны, задаются для поперечных сечений, расположенных выше и ниже проектируемого узла.

Заметим, что в таблице задания значений внутренних усилий для одной или нескольких расчетных комбинаций нагрузок предусмотрен дополнительный столбец **Группа предельных состояний**, в котором необходимо определить группу предельных состояний текущей комбинации нагрузок (первая или вторая).

При нажатии кнопки **Добавить** в таблице усилий появляется новая строка, в которую необходимо ввести значения внутренних усилий для текущей расчетной комбинации нагрузок. Количество расчетных комбинаций нагрузок произвольно. По умолчанию единицами измерения продольных и поперечных усилий приняты тонны, изгибающих моментов – тонны×метры. Правило знаков усилий принимается по рисунку, приведенному в левом верхнем углу страницы, на котором указано их положительное направление.

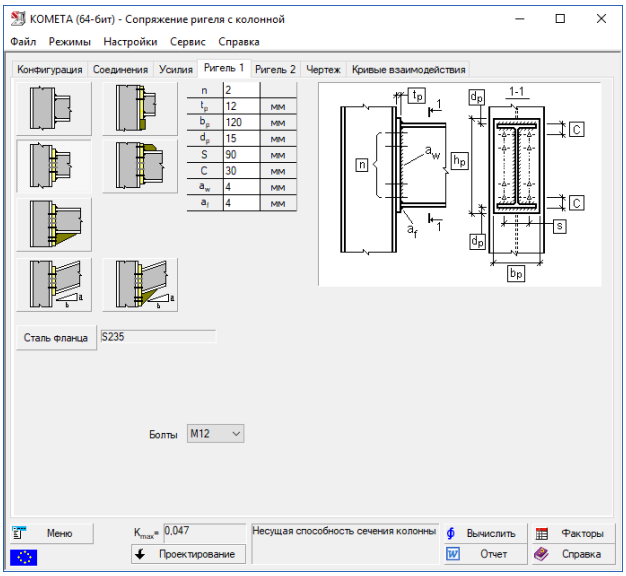


Рис. 10.4.5-7. *Страница* **Ригель 1** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной** (жесткое сопряжение ригеля 1 с колонной)

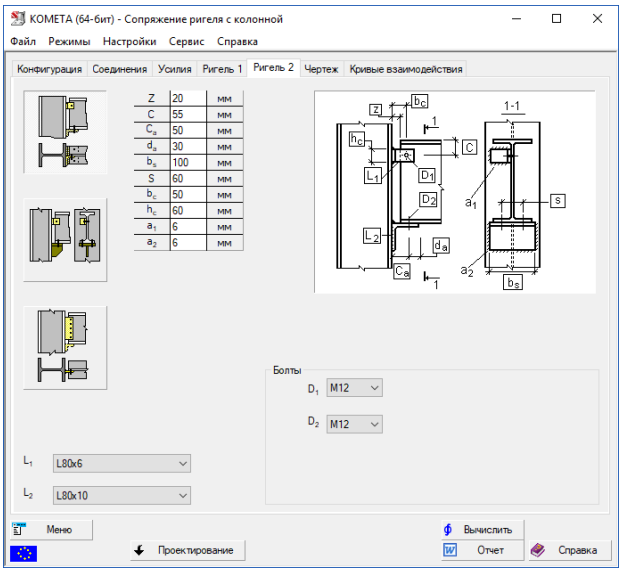


Рис. 10.4.5-8. *Страница* **Ригель 2** *режима* **Сопряжение ригеля с колонной** (шарнирное сопряжение ригеля 2 с колонной)

На странице **Ригель 1** (рис. 10.4.5-7) размещена группа кнопок для выбора конструктивного решения сопряжения ригеля с колонной (ригеля, расположенного слева от колонны). Если для ригеля 1 на странице

Конфигурация было задекларировано жесткое сопряжение, то на странице **Ригель 1** будут отображены конструктивные решения жесткого сопряжения ригеля с колонной.

Для некоторых типов сопряжений ригеля с колонной (рис. 10.4.5-1, *д, ж*) в программе предусмотрена возможность задания уклона ригеля с помощью задания значений для безразмерных параметров a и b (см. рис. 10.4.5-1, *д, ж*) в группе **Наклон**.

На странице **Соединения** необходимо задать информацию относительно особенностей сварных и болтовых соединений узлов сопряжений ригелей с колонной, а именно: класс болтов и тип отверстия под болты, определить систему высокопрочных болтов и т.д. Подробно функциональные возможности страницы **Соединения** рассмотрены при описании режима **Стыки балок** (см. п. 10.4.3). В дополнение к уже заданным ранее на странице **Конфигурация** (см. рис. 10.4.5-3) маркам сталей для несущих элементов (колонны и ригелей) узлов сопряжений предусмотрена возможность задать марки сталей вспомогательных элементов узла (накладок и фланцев) нажатием кнопок **Сталь накладок** и **Сталь фланца** на странице **Ригель 1** (см. рис. 10.4.5-7).

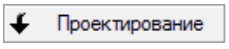
Кроме того, предусмотрена возможность задать усиление полки колонны подкрепляющей пластиной с помощью постановки флажка на кнопке-маркере **Усиление полки колонны**. Размеры подкрепляющей пластины (высота h_{bp}, ширина b_{bp}, толщина t_{bp}), а также привязку размещения отверстий под болты в этой пластине e_{bp} можно задать в соответствующих полях ввода. В том случае, когда значения этих параметров останутся не определенными пользователем программа подберет их значение автоматически.

На странице **Ригель 2** (рис. 10.4.5-8) размещена группа кнопок для выбора конструктивного решения сопряжения с колонной ригеля 2 (ригеля, расположенного справа от колонны). Если для ригеля 2 на странице **Конфигурация** было задекларировано шарнирное сопряжение, то на странице **Ригель 2** будут отображены только конструктивные решения шарнирного сопряжения ригеля с колонной. Шарнирные сопряжения элементов выполняются с использованием болтов обычной прочности (для типов сопряжений с опорным столиком, рис. 10.4.5-8-2, *а, б*) и высокопрочных болтов (для типа сопряжения без опорного столика, рис. 10.4.5-8-2, *в*).

Для фиксации положения ригеля относительно колонны, а также в качестве опорного столика в некоторых типах шарнирных сопряжений (рис. 10.4.5-2, *а, б*) используются равнополочные уголки по ГОСТ 8509-86. Если пользователю известны размеры этих уголков, их можно задать в специальных выпадающих списках L_1 и L_2.

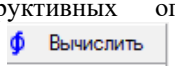
Необходимо заметить, что автоматизированный расчет шарнирных сопряжений ригеля с колонной на накладках предусматривает, что размеры поперечного сечения накладок принимаются максимально приближенными к размерам поперечного сечения ригеля (речь идет, в частности, о высоте накладки на стенке ригеля). В программе не учтены дополнительные напряжения от концентраций напряжений, которые могут возникнуть в том случае, если высоту накладки на стенках балок принять меньшей, чем расчетная высота стенки балки.

Для оценки несущей способности известного (заданного) конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной необходимо задать все расчетные параметры узла. К таким параметрам относим размеры и толщины конструктивных элементов, входящих в состав узла, диаметры болтов, размеры, регламентирующие расположение элементов относительно друг друга, катеты сварных швов, количество болтов, количество рядов болтов и др. Параметры узла вводятся в таблице, расположенной на странице **Ригель 1** или/и **Ригель 2**. По умолчанию единицами измерения линейных размеров проектного решения узла приняты миллиметры.

При нажатии кнопки 

появляется выпадающее меню. Если выбран первый пункт меню ***Все параметры не заданы***, то выполняется автоматизированный подбор всех параметров конструктивного решения узла и при этом предполагается, что параметры конструкции узла не известны, а заданные ранее их значения игнорируются. Если же выбран пункт меню ***Некоторые параметры заданы***, то для незаданных параметров (тех, которые в списке параметров равны нулю) программа автоматически определит их значения при фиксированных значениях заданных параметров.

Автоматизированный подбор проектного решения узла сопряжения ригеля с колонной совершался на

базе анализа его чувствительности по отношению к варьированию управляемых параметров узла с учетом условий обеспечения необходимой несущей способности и конструктивных ограничений, регламентированных нормами (подробнее см. п. 8.2). При нажатии кнопки 

программа выполняет проверку несущей способности сечений элементов, примыкающих к узлу (колонны и ригелей), конструктивных элементов узла (фланцев, накладок, плит опорных столиков и т.д.) и их соединений (болтовых и сварных) при заданных (или ранее подобранных) значениях всех параметров узла в соответствии с требованиями норм.

Как при нажатии кнопки **Проектирование**, так и при нажатии кнопки **Вычислить** в поле $\mathbf{K_{max}}$, расположенном в нижней части окна, выводится максимальное из всех коэффициентов использования ограничений значение фактора (наиболее опасного) и указывается вид нормативной проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при котором этот максимум реализовался, а также выполняется генерация чертежа конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной стадии КМ.

Полный перечень проверок и значения соответствующих коэффициентов использования ограничений доступен по нажатию кнопки **Факторы**. Список выполняемых программой проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений узлов жестких и шарнирных сопряжений ригелей с колонной представлен в табл. 10.4.5-1 и 10.4.5-2.

При переходе на страницу **Чертеж** (рис. 10.4.5-9) выполняется проверка узла аналогично режиму **Вычислить**. Если результаты анализа параметров элементов узла не противоречат конструктивным и нормативным требованиям, то выполняется генерация чертежа узлового решения стадии КМ.

Табл. 10.4.5-1. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений жестких сопряжений ригеля с колонной при проектировании по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Изгибная прочность узла	рис. 10.4.5-1	п. 6.2.5.1, (6.23), (6.24), (6.25)	
Несущая способность сварного шва стенки балки с учетом упрочнения сварки для случая пластического анализа системы	рис. 10.4.5-1, *а*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного шва полки балки с учетом упрочнения сварки для случая пластического анализа системы	рис. 10.4.5-1, *а*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного соединения между стенкой ригеля и плитой фланца	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного соединения между полкой ригеля и плитой фланца	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность стенки колонны на срез	рис. 10.4.5-1	п. 6.2.4.1, (6.7), (6.8)	
Несущая способность стенки колонны на поперечное сжатие	рис. 10.4.5-1	п. 6.2.4.2, (6.9)-(6.14)	
Несущая способность стенки колонны на поперечное растяжение	рис. 10.4.5-1	п. 6.2.4.3, (6.15)-(6.19a), (6.19b)	
Несущая способность полки колонны на поперечный изгиб	рис. 10.4.5-1	п. 6.2.4.4, табл. 6.4, табл. 6.5, (6.20)	
Несущая способность сварного соединения между опорным столиком и полкой колонны	рис. 10.4.5-1, *б*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность опорного ребра (фланца) на местное торцевое смятие	рис. 10.4.5-1, *б*		

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления срезу для соединения сминаемого типа	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления смятию для соединения сминаемого типа	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления трения для второй группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по второй группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления срезу для первой группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по второй группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления смятию для первой группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по второй группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления трению для первой группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по первой группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления смятию для первой группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по первой группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе пластического сопротивления сечения нетто с учетом ослабления отверстиями для первой группы предельных состояний для фрикционного соединения при расчетах по первой группе предельных состояний	рис. 10.4.5-1, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления растяжению для соединения с ненапрягаемыми болтами	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.2 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления среза при пробивке для соединения с ненапрягаемыми болтами	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.2 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления растяжению для соединения с напрягаемыми болтами	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.2 (3), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе сопротивления срезу при пробивке для соединения с напрягаемыми болтами	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	п. 3.4.2 (3), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность болтового соединения между фланцем и полкой колонны, вычисленная на основе комбинации сопротивления срезу и растяжению соединения	рис. 10.4.5-1, *б*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*	табл. 3.4	
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие поперечной силы	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.5, (6.10)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие растягивающего усилия	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.3, (6.5)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие сжимающего усилия	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и поперечной силы	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и продольной силы	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.9.1, (6.26)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента, поперечной и продольной сил	рис. 10.4.5-1		п. 6.2.10
Примечания: см. *Примечания* табл. 10.4.1-1.			

Табл. 10.4.5-2. Список проверок несущей способности элементов и соединений конструктивных решений шарнирных сопряжений ригеля с колонной при проектировании по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность стенки колонны на срез	рис. 10.4.5-2	п. 6.2.4.1, (6.7), (6.8)	
Несущая способность болтового соединения между накладкой и стенкой ригеля, вычисленная на основе сопротивления срезу, для соединения сминаемого типа	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между накладкой и стенкой ригеля, вычисленная на основе сопротивления смятию, для соединения сминаемого типа	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.4.1 (2), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между накладкой и стенкой ригеля для фрикционного соединения при расчетах по второй группе предельных состояний	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность болтового соединения между накладкой и стенкой ригеля при расчетах по первой группе предельных состояний	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.4.1 (3), 3.4.1 (4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4	
Несущая способность сварного соединения между накладкой и полкой колонны на действие приведенных напряжений	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 4.5.3, (4.1)	

Название фактора	Тип стыка	Ссылка на EN 1993-1-8:2005	Ссылка на EN 1993-1-1:2005
Несущая способность сварного соединения между накладкой и полкой колонны на действие нормальных напряжений	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 4.5.3, (4.1)	
Несущая способность сварного соединения между накладкой и полкой колонны, рассчитанная в запас прочности не принимая во внимание ориентацию швов	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сварного соединения между уголком консоли и стенкой колонны на действие приведенных напряжений	рис. 10.4.5-2, *а*, *б*	п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4)	
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие поперечной силы	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.5, (6.10)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие растягивающего усилия	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.3, (6.5)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие сжимающего усилия	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и поперечной силы	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и продольной силы	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.9.1, (6.26)
Несущая способность сечения накладки, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента, поперечной и продольной сил	рис. 10.4.5-2, *в*		п. 6.2.10
Несущая способность накладки на срез по сечению, ослабленному блоком отверстий	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.10.2, (3.9), (3.10)	
Несущая способность балки на срез по сечению, ослабленному блоком отверстий	рис. 10.4.5-2, *в*	п. 3.10.2, (3.9), (3.10)	
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие поперечной силы	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.6, (6.12)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.5, (6.10)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие растягивающего усилия	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.3, (6.5)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие сжимающего усилия	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.4, (6.9)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и поперечной силы	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.8, (6.25)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента и продольной силы	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.9.1, (6.26)
Несущая способность сечения ригеля, ослабленного отверстиями, на действие изгибающего момента, поперечной и продольной сил	рис. 10.4.5-2		п. 6.2.10
Примечания: см. *Примечания* табл. 10.4.1-1.			

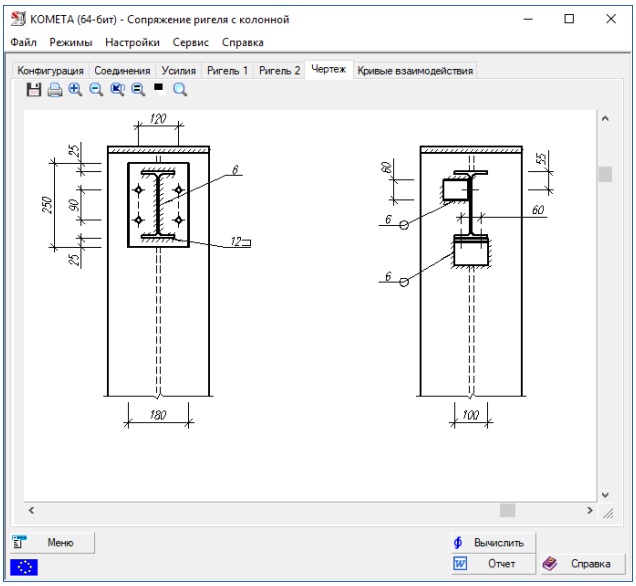


Рис. рис. 10.4.5-9. *Страница* **Чертеж** *режима* **Узлы Сопряжение ригеля с колонной**

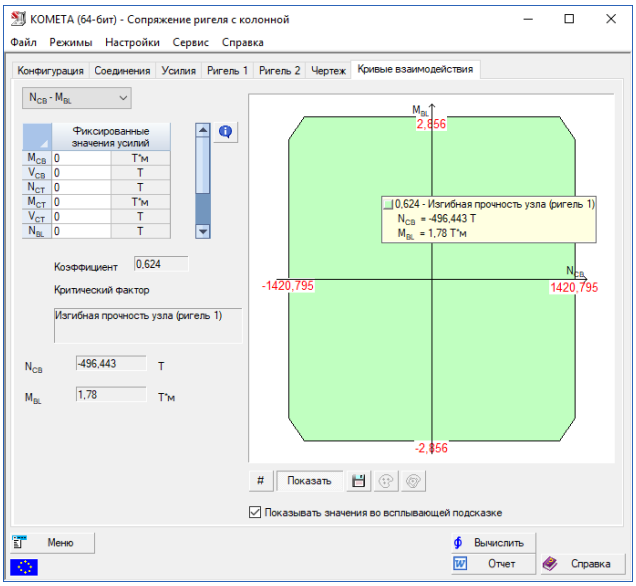


Рис. 10.4.5-10. *Страница* **Кривые взаимодействия** *режима* **Узлы** *Сопряжение* **ригеля с колонной**

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 10.4.5-10) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности заданного (или подобранного) конструктивного решения узла сопряжения ригеля с колонной при действии в нем различных пар внутренних усилий, которые могут возникнуть в примыкающих к узлу элементах (в колонне и ригелях). Для получения такой кривой необходимо нажать кнопку **Показать**.

При этом, выбор пары варьируемых внутренних усилий выполняется в выпадающем списке, а все остальные усилия полагаются равными тем значениям, которые заданы в группе **Фиксированные значения усилий**.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область несущей способности узла сопряжения ригеля с колонной. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений варьируемых усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях. Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для того набора усилий, который соответствует текущему положению курсора на построенной области кривой взаимодействия.

10.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе КОМЕТА Eurocode 3

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов при расчетах по EN 1993-1-1:2005 и EN 1993-1-8:2005
Стали	EN 10025-2:2004, EN 10025-3:2004, EN 10025-4:2004, EN 10025-5:2004, EN 10025-6:2004, EN 10210-1:2006, EN 10219-1:2006
Сортамент металлопроката	
Болты	EN ISO 898-1:1999-12
Класс прочности бетона (EN 1992)	EN 1992-1-1:2004
Жесткие базы колонн	п. 6.2.3, п. 6.2.6.1, п. 6.2.6.2, п. 6.2.6.3, табл. 6.7, п. 6.2.4.12, п. 3.4.1 (2), п. 3.4.2 (2), табл. 3.4, п. 3.6.1 (1), п. 3.6.1 (3), п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4) **EN 1993-1-8:2005** п. 6.2.3, (6.5), п. 6.2.4, (6.9), п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25), п. 6.2.9.1, (6.26), п. 6.2.10 **EN 1993-1-1:2005**
Шарнирные базы колонн	п. 3.4.1 (2), п. 3.4.2 (2), табл. 3.4, п. 3.6.1 (1), п. 3.6.1 (3), п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4), п. 6.2.3, (6.4)-(6.6), п. 6.2.4.12, п. 6.2.6.2 **EN 1993-1-8:2005** п. 6.2.3, (6.5), п. 6.2.4, (6.9), п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25), п. 6.2.9.1, (6.26), п. 6.2.10 **EN 1993-1-1:2005**
Стыки балок	п. 3.4.1 (2)-(4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4, п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4), п. 6.2.5.1, (6.23) **EN 1993-1-8:2005** п. 6.2.3, (6.5), п. 6.2.4, (6.9), п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25), п. 6.2.9.1, (6.26), п. 6.2.10 **EN 1993-1-1:2005**
Узлы ферм	
Сопряжения ригеля с колонной	п. 3.4.1 (2)-(4), табл. 3.2, п. 3.6.1, табл. 3.4, п. 3.10.2, (3.9), (3.10), п. 4.5.3, (4.1), п. 4.5.4, (4.2)-(4.4), п. 6.2.4.1, (6.7), (6.8), п. 6.2.4.2, (6.9)- (6.14), п. 6.2.4.3, (6.15)- (6.19a), (6.19b), п. 6.2.4.4, табл. 6.4, табл. 6.5, (6.20), п. 6.2.5.1, (6.23), (6.24), (6.25) **EN 1993-1-8:2005** п. 6.2.3, (6.5), п. 6.2.4, (6.9), п. 6.2.5, (6.10), п. 6.2.6, (6.12), п. 6.2.8, (6.25), п. 6.2.9.1, (6.26), п. 6.2.10 **EN 1993-1-1:2005**

11. Программа Монолит

11.1 Предварительные сведения

Программа **Монолит** предназначена для проектирования железобетонных монолитных ребристых и плоских перекрытий. В качестве исходных данных в ней могут быть использованы результаты подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций, полученные как с помощью SCAD, так и других программ. Система разработана в соответствии с требованиями действующих норм:

СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы и правила;

СНиП 52-01-2003 (СП 52-101-03). Бетонные и железобетонные конструкции;

СП 63.13330. Бетонные и железобетонные конструкции;

ГОСТ 21.201-2011 и ГОСТ 21.501-2011 (ДСТУ Б А.2.4-7-95). Система проектной документации для строительства. Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей;

ГОСТ 21.1101-2013 (ДСТУ Б А.2.4-4-99). Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации;

ГОСТ 7473-94 (ДСТУ Б В.2.7-96-2000). Смеси бетонные. Технические условия;

ГОСТ 14098-91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.

Кроме этого, при создании **Монолит** использовались:

Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры [1];

Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения) [3];

Справочное пособие «Проектирование железобетонных конструкций» [2].

11.1.1 Проектирование ребристых перекрытий

Ребристые перекрытия образованы системой плит и балок, опирающихся на колонны и(или) стены. В программе предусматривается армирование конструкций отдельными стержнями (без отгибов), сварными каркасами и сетками, изготовляемыми с помощью точечной сварки соединений стержней. При этом максимальный размер арматурных изделий (сеток) может быть задан пользователем. При отсутствии таких указаний максимальная ширина сварных сеток принимается по умолчанию равной 3.0 м.

Результатом работы программы является необходимый комплект рабочих чертежей перекрытия, который включает:

- опалубочный план с характерными сечениями;
- планы верхней и нижней арматуры плиты (раскладка арматурных сеток);
- арматурные чертежи балок и колонн;
- чертежи сварных каркасов и сеток, использованных для армирования плит и балок;
- ведомость деталей;
- ведомости расхода стали по плитам и сводную ведомость;
- спецификации по плитам и сводную спецификацию.

Все выходные документы готовятся в стандартных для большинства печатающих устройств форматах — А4 и А3. Но можно выводить их и на устройства другого формата, а также Plotter. Выходные документы печатаются в заданной ориентации Портрет или Альбом (свойство печатающего устройства). Для части из них ориентация фиксирована и не зависит от настройки принтера (как правило из соображений удобства отображения информации).

11.1.2 Общая схема перекрытия

Общая схема перекрытия компонуется на ортогональной сетке узлов, имеющих последовательную нумерацию. Узлы располагаются в местах пересечения конструктивных элементов перекрытия — балок, стен, колонн. Плиты приняты постоянной толщины по всему перекрытию, верх плит находится в одном уровне с верхом балок (если перекрытие конструируется ребрами вверх, то низ плиты находится в одном уровне с низом балок). Балки прямоугольного сечения подразделяются на второстепенные, воспринимающие равномерно распределенную нагрузку от плит перекрытия, и главные, несущие нагрузку от второстепенных балок перпендикулярного направления и плит перекрытия. Опорами перекрытия служат несущие стены здания и(или) колонны каркаса. При этом условия опирания перекрытия на стены определяются материалом стен: кирпичных, предусматривающих свободное безмоментное опирание балок и плит, и бетонных, монолитно связанных с перекрытием и обеспечивающих жесткое, моментное сопряжение балок и плит с опорной конструкцией. Все несущие элементы сооружения (стены, колонны, балки) могут быть смещены относительно осей, соединяющих узлы разбивочной сетки.

Необходимое сечение продольной As ($см^2$) и поперечной Asw ($см^2/м$) арматур в главных и второстепенных балках задается на отдельных участках (не менее трех и не больше пяти) по длине пролета балки. В пределах участка армирование предполагается постоянным. Армирование на опорах определяется сечением арматуры, заданным на приопорных участках. При задании пяти участков по длине пролета конструирование выполняется с учетом рационального распределения материала (переменный шаг поперечных стержней и обрыв пролетной арматуры на участках, где ее полное сечение не требуется).

11.1.3 Балки

Балки перекрытия армируются в пролетах плоскими сварными каркасами, объединяемыми в пространственные блоки путем приварки поперечных стержней или отдельными стержнями, образующими пространственный каркас при помощи хомутов. При ширине балки до 150 мм в пролете может быть установлен один каркас. При большей ширине в пролете балки устанавливается два и более сварных каркаса в зависимости от требуемого по расчету сечения арматуры и условий ее размещения. Каркасы имеют один или два продольных рабочих стержня у верхней или нижней грани сечения. В тех случаях, когда продольных стержней два, они располагаются в двух уровнях с зазором. В зависимости от размеров сечения балки диаметр используемых продольных стержней ограничен следующими предельными значениями:

Высота балки (мм)	<= 400	<=600	> 600
Максимальный диаметр продольных стержней каркаса	22	30	40

Высота балки — расстояние от нижней до верхней грани балки, совпадающей с верхом плиты перекрытия.

11.1.4 Плиты

Плиты перекрытия армируются в пролете и на опорах плоскими сварными сетками или вязаными сетками с раздельной арматурой без отгибов с рабочей арматурой в одном или двух направлениях в зависимости от условий работы данного участка плиты.

Во всех случаях сечение рабочей арматуры ($см^2/м$) принимается не менее $0.0005*h_п$, где $h_п$ — толщина плиты в см. Если сечение арматуры является расчетным, арматурные стержни укладываются с шагом не более 200 мм при толщине плиты до 150 мм и не более $1.5*h_п$ при $h_п$ более 150 мм. Стержни распределительной арматуры сеток (если в этом направлении арматуры по расчету не требуется) назначаются по условиям сварки. Пролетная арматура плиты, укладываемая понизу в пределах участка, ограниченного примыкающими балками или стенами, назначается в зависимости от размеров участка и предельной ширины сеток в виде одной или нескольких сварных сеток. В последнем случае стыки сеток выполняются внахлестку в направлении меньшего сечения арматуры сетки. При этом если в пределах стыка

оказывается меньше двух поперечных стержней, в конструкцию сеток вводятся дополнительные стержни, обеспечивающие это условие.

Глубина опирания плит на кирпичные стены может быть задана пользователем, но она должна быть не менее 120 мм. Если глубина опирания не задана, то она принимается по умолчанию равной 120 мм. В местах свободного опирания плит на кирпичные стены пролетные сварные сетки заводятся за грань опоры. Если глубина опирания не позволяет осуществить необходимую анкеровку продольных стержней (10 диаметров), к сеткам при монтаже арматуры привариваются дополнительные поперечные стержни.

Армирование плит у мест опирания осуществляется плоскими сварными (вязаными) сетками с рабочей арматурой в одном направлении, которые укладываются в верхней зоне плиты. Сетки укладываются со стыками «вразбежку» с зазором между крайними рабочими стержнями, не превышающими шаг этих стержней в сетке. Сечение рабочей арматуры опорных сеток принято одинаковым на всем протяжении линии опирания и определяется максимальным требуемым сечением арматуры в участках плит, примыкающих к данной опоре. Сетки, расположенные в местах, где верхняя арматура назначена по расчету (монолитная связь плиты с примыкающими конструкциями), заводятся в пролет на расстояние 0.25 длины пролета, а в местах опирания на кирпичные стены (где арматура по расчету не требуется) — 0.1 длины пролета. В местах монолитного сопряжения плит с примыкающими конструкциями стен или балок на крайних опорах (одностороннее примыкание плиты) опорные сетки заводятся за грань опоры на величину анкеровки. При этом в случае необходимости концы сеток отгибаются.

11.1.5 Колонны

Колонны (стойки) рассматриваются только прямоугольного или круглого сплошного сечения. Армирование выполняется на один этаж. Колонна армируется пространственным вязаным каркасом, состоящим из продольных стержней и хомутов (в необходимых случаях добавляются шпильки), или плоскими сварными каркасами, которые при помощи соединительных стержней образуют пространственный каркас. Продольная арматура размещается симметрично относительно осей сечения по его граням. Стыки продольной арматуры устраиваются внахлестку без сварки. Плоские сварные каркасы принимаются с односторонним расположением арматуры. В одном плоском каркасе рабочие стержни принимаются не более двух различных диаметров. Поперечная арматура по всей длине колонны выбирается одного диаметра, но с разным расстоянием между стержнями. Поперечная арматура на участке стыка продольной арматуры с выпусками из фундамента или нижнего этажа размещается с меньшим шагом, чем на остальной части колонны.

11.2 MDI интерфейс

Управление программой **Монолит** построено на основе многооконного интерфейса, получившего в среде Windows аббревиатуру MDI (Multi Documented Interface). Это позволяет работать одновременно с несколькими проектами, сравнивать исходные данные и результаты различных проектов, а также копировать табличные данные из одного проекта в другой. В качестве ограничения в программе принято, что каждый проект может иметь только одно открытое окно.

В программе различают окна четырех видов:

- главное окно;
- окно с деревом проекта;
- окно визуализации исходных данных;
- окно визуализации результатов расчета.

Кроме того, для ввода исходных данных и параметров настройки используются различные диалоговые окна.

11.2.1 Главное окно

Главное окно программы (рис. 11.2.1-1) включает в свой состав меню, инструментальную панель и рабочее поле, в которое загружаются окна проектов.

Содержание меню и набор инструментальных панелей зависит от состояния проекта.

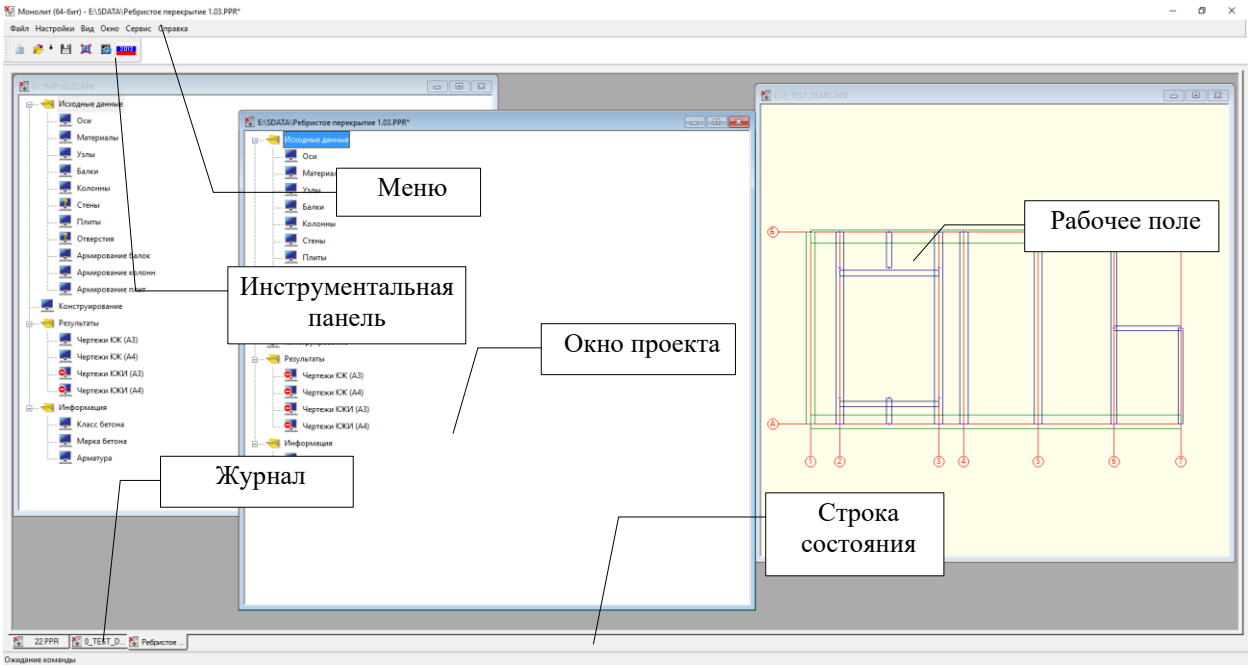


Рис. 11.2.1-1. Главное окно программы

Меню

Количество разделов меню и их содержание зависит от состояния проекта. Например, в исходном состоянии (нет активных проектов) меню содержит шесть разделов: **Файл**, **Настройки**, **Вид**, **Окно**, **Сервис** и **Справка**, а в режиме подготовки данных — семь (добавляется раздел **Операции**). В таблице 11.2.1-1 приведен перечень разделов меню и доступные операции при различных состояниях проекта.

Таблица 11.2.1-1.

Раздел меню	Полный набор операций в разделе	Доступные операции				
		Исходное состояние (нет открытых проектов или нет изменений в проекте)	Открыто дерево проекта		Открыт проект в режиме ввода исходных данных	Открыт проект в режиме анализа результатов работы
			изменения в проекте не сохранялись	изменения в проекте сохранялись		
Файл	Новый	*	*	*	*	*
	Открыть	*	*	*	*	*
	Закрыть				*	*
	Сохранить				*	*
	Сохранить как…				*	*
	Вывод в DXF					*
	Вывод на печать					*
	Отправить					
	Выход	*	*	*	*	

Раздел меню	Полный набор операций в разделе	Доступные операции				
		Исходное состояние (нет открытых проектов или нет изменений в проекте)	Открыто дерево проекта		Открыт проект в режиме ввода исходных данных	Открыт проект в режиме анализа результатов работы
			изменения в проекте не сохранялись	изменения в проекте сохранялись		
Операции	Отменить				*	
	Повторить				*	
	Координационные оси				*	
	Материалы				*	
	Узлы				*	
	Колонны				*	
	Балки				*	
	Стены				*	
	Плиты				*	
	Отверстия				*	
	Армирование плит				*	
	Армирование балок				*	
	Армирование колонн				*	
	Дополнительное армирование				*	
	Детали усиления узла				*	
	Разбиение плит балками				*	
Настройки	Настройки	*	*		*	
	Свойства проекта		*		*	
	Основная надпись (форма 3)		*		*	*
	Основная надпись (форма 4)		*		*	*
	Основная надпись (форма 5)		*		*	*
	Основная надпись (форма 6)		*		*	*
	Настройка параметров проекта		*		*	*
	Назначение рабочих директорий	*				
	Журнал	*	*		*	*
Вид	Масштаб				*	*
	Панели инструментов	*	*		*	*
	Строка состояния	*	*		*	*
Окно	Каскадировать		*		*	*
	Черепица		*		*	*
	Упорядочить иконки		*		*	*
Сервис	Калькулятор Windows	*	*		*	*
	Расчет по формуле	*	*		*	*

Раздел меню	Полный набор операций в разделе	Доступные операции				
		Исходное состояние (нет открытых проектов или нет изменений в проекте)	Открыто дерево проекта		Открыт проект в режиме ввода исходных данных	Открыт проект в режиме анализа результатов работы
			изменения в проекте не сохранялись	изменения в проекте сохранялись		
	Преобразование единиц измерения	*	*		*	*
Справка	Разделы помощи	*	*		*	*
	Проверить наличие новой версии	*	*		*	*
	О программе	*	*		*	*

Раздел **Файл** включает ссылки на следующие операции:

- **Новый (**проект**)** — создание нового проекта;
- **Открыть (**проект**)** — чтение ранее созданного проекта;
- **Сохранить** — сохранить текущие изменения в проекте под тем же именем;
- **Сохранить как…** — сохранить текущие изменения в проекте в файле под новым именем;
- **Закрыть** — окончание работы с текущим проектом;
- **Вывод в DXF** — формирование файлов в формате DXF (AutoCAD) для чертежей, выбранных в дереве с результатами проектирования;
- **Вывод на печать** — вывод на печать чертежей, выбранных в дереве с результатами проектирования;
- **Отправить** — отправка файла проекта по электронной почте;
- **Выход** — завершение работы с программой.

В нижних строках меню записаны имена файлов последних проектов (до десяти), с которыми работал пользователь.

Раздел **Операции** доступен только в режиме подготовки исходных данных, дублирует соответствующие кнопки одноименной инструментальной панели и включает следующие разделы:

- **Отменить** — отмена результатов последней операции;
- **Повторить** — восстановление результатов последней операции после выполнения команды **Отменить**;
- **Координационные оси** — ввод данных, необходимых для построения координационных осей;
- **Материалы** — задание списков используемых материалов (бетон, арматура);
- **Узлы** — задание узлов привязки конструктивных элементов;
- **Колонны** — задание привязок и размеров колонн;
- **Балки** — задание привязок и размеров балок;
- **Стены** — задание привязок и размеров стен;
- **Плиты** — задание привязок и размеров плит перекрытий;
- **Отверстия** — задание привязок и размеров отверстий;
- **Армирование плит** — задание характеристик армирования плит перекрытий;
- **Армирование балок** — задание характеристик армирования балок;
- **Армирование колонн** — задание характеристик армирования колонн;
- **Дополнительное армирование** — задание характеристик дополнительного армирования (используется только для безбалочных перекрытий);
- **Детали усиления узла** — описание деталей усиления конструктивных узлов (используется только для безбалочных перекрытий);

- **Разбиение плит балками** — образование новых плит, опирающихся по граням на крайние и опорные узлы балок.

В раздел **Настройки** входят операции:

- **Настройки** — вызов одноименного диалогового окна, в котором задаются единицы измерения, формат и язык отчета, а также цвета при отображении конструктивных элементов на схемах;
- **Свойства проекта**;
- **Основная надпись (форма 3)**, **(форма 4)**, **(форма 5)**, **(форма 6)** — шаблоны для заполнения основной надписи различной формы;
- **Настройка параметров проекта** — вызов одноименного диалогового окна, в котором выполняется настройка проектирующей системы программы;
- **Назначение рабочих директорий** — вызываемое этой операцией диалоговое окно **Назначение рабочих директорий** позволяет указать имена каталогов, откуда следует взять проект и куда следует помещать рабочие файлы и результаты. Изменить назначение директорий можно только при условии, что ни один проект не открыт;
- **Журнал** — активация маркера в этой позиции меню включает отображение закладок активных проектов (журнал).

Раздел **Вид** используется для включения/отключения отображения линеек инструментальной панели и строки состояния, а также изменения масштаба изображения в режиме анализа результатов проектирования.

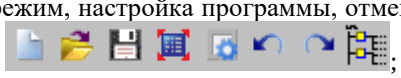
Раздел **Окно** включает операции управления отображением окон при одновременной работе с несколькими проектами. К ним относятся операции **Каскадировать**, **Черепица** и **Упорядочить иконки** (последняя операция предназначена для упорядочивания в главном окне перечня иконок, принадлежащих свернутым окнам проектов).

Из раздела **Сервис** вызываются вспомогательные программы, к которым относятся стандартный калькулятор среды Windows, калькулятор для расчетов по формуле и программа преобразования единиц измерения.

Раздел **Справка** включает традиционные для среды Windows операции доступа к разделам помощи и информации о программе, а также опцию, позволяющую проверить наличие новой версии программы на сайте компании www.scadsoft.com.

11.2.2 Инструментальные панели в режиме ввода исходных данных

Инструментальная панель содержит следующие линейки с кнопками управления:

- **Общие операции** — включает операции создания, чтения и сохранения проекта, а также ряд служебных операций (переход в полноэкранный режим, настройка программы, отмена и повторение предыдущего действия, переход в дерево проекта)  ;
- **Операции** — линейка дублирует одноименный раздел меню и позволяет активизировать различные операции подготовки данных из инструментальной панели ;
- **Фильтры отображения** — включает набор кнопок, управляющих отображением введенных данных на конструктивной схеме в процессе подготовки исходных данных ;
- **Визуализация** — линейка включает набор операций управления отображением конструктивной схемы .

Панель Общие операции

Панель включает пиктограммы для вызова следующих операций:

— **Новый** (проект), — **Открыть**, — **Сохранить** — дублирование одноименных операций меню **Файл**.

— **Полноэкранный режим работы** — переход к максимально возможному размеру окна программы **Монолит**;

— **Настройка** — вызов одноименного диалогового окна, в котором задаются единицы измерения, назначаются правила формирования отчета, а также цвета отображения графической и текстовой информации при вводе исходных данных;

— **Отменить**, — **Повторить** — дублирование одноименных операций меню **Операции**;

— **Переход в экран управления проектом** — переход в окно с **Деревом управления проектом**.

Панель Операции

Панель включает следующие пиктограммы вызова операций, которые дублируют операции одноименного раздела меню:

— задание параметров координационных осей;

— назначение характеристик бетона и выбор сортамента арматуры;

— ввод узлов;

— задание размеров и положения колонн;

— задание размеров и положения балок;

— задание толщины и положения стен;

— задание толщины и положения плит;

— задание размеров и положения отверстий;

— задание параметров армирования плит;

— задание параметров армирования балок;

— задание параметров армирования колонн;

— разбиение плит балками.

В случае проектирования безбалочного перекрытия в инструментальной панели появляются пиктограммы:

— задание положения и характеристик дополнительного армирования;

— описание деталей усиления узла.

Панель Фильтры отображения

Панель включает пиктограммы для вызова следующих операций:

— отображение узлов;

— отображение номеров узлов;

— отображение колонн;

— отображение номеров колонн;

— отображение балок;

— отображение номеров балок;

— отображение стен;

— отображение номеров стен;

— отображение плит;

— отображение номеров плит;

— отображение координационных осей;

— отображение размерных линий.

Панель Визуализация

— увеличение схемы;

— уменьшение схемы;

— вывод схемы в исходном масштабе;

— трехмерное реалистичное отображение;

— вид сверху на трехмерное реалистичное отображение.

Управление линейками инструментальной панели

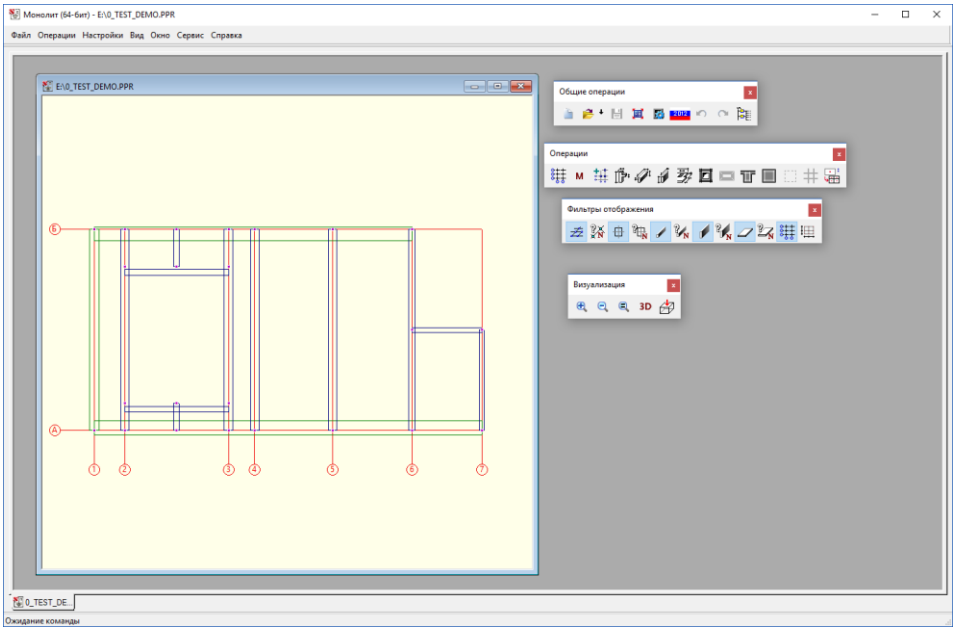


Рис. 11.2.2-1. Перенос линеек инструментальной панели

После инсталляции программы линейки инструментальной панели по умолчанию располагаются в верхней части окна под меню. Если для удобства работы необходимо, чтобы они занимали другое положение на экране, то их можно сместить. Для этого достаточно подвести курсор в любую, отличную от кнопки, точку линейки и, зафиксировав в нажатом состоянии левую кнопку мыши, переместить курсор и линейку в любое место экрана (в том числе и вне окна программы). Возврат линеек в исходное положение выполняется по тем же правилам. После окончания сеанса работы последнее положение линеек запоминается, и при следующей загрузке программы линейки будут находиться в том положении, в котором они были оставлены в конце предыдущего сеанса (рис. 11.2.2-1).

11.3 Создание нового проекта

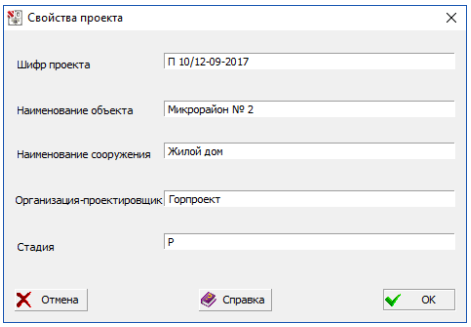


Рис. 11.3-1. *Диалоговое окно* **Свойства проекта**

Для создания нового проекта следует установить курсор на кнопку **Новый проект** линейки **Управление** инструментальной панели и нажать левую кнопку мыши. На экране появляется диалоговое окно **Свойства проекта** (рис. 11.3-1), в котором задается информация о проекте, шифр, наименование объекта, наименование сооружения, организация-проектировщик и стадия проектирования.

После нажатия кнопки **ОК** на экране появляется стандартное окно **Сохранить как …**, где задается имя файла нового проекта и назначается папка, в которой файл хранится. Проект представляет собой файл с расширением **.ppr**, который содержит информацию об исходных данных и результатах проектирования.

После завершения процесса создания файла проекта в поле главного окна появляется окно с деревом управления проектом (строка заголовка этого окна содержит наименование файла проекта).

11.3.1 Настройка параметров проекта

Диалоговое окно **Настройка параметров проекта** (рис. 11.3.1-1) содержит пять маркеров. Опции, которыми они управляют, позволяют учесть конструктивные особенности объекта проектирования и включают:

Конструктивное армирование — позволяет получить перекрытие с минимальным допустимым по нормам процентом армирования. При этом не требуется задавать армирование плиты, балок и колонн. Величины площадей арматуры, полученные в результате расчета, запоминаются, и их можно просмотреть на страницах армирования плит, балок и колонн. В случае необходимости эти величины можно откорректировать и повторить расчет;

Диаметр стержней продольной арматуры балки не менее 12 мм — по умолчанию маркер находится в активном состоянии (в балке для продольной рабочей арматуры рекомендуется использовать стержни диаметром не менее 12 мм). Если пользователь считает, что в его случае арматура может быть и меньшего диаметра, то эту опцию надо отключить;

Расчет и конструирование ребрами вверх — опция предназначена для конструирования перекрытия, у которого ребра направлены вверх (полкой вниз), т.е. нижняя грань балки совпадает с низом плиты перекрытия;

Дополнительные графы к основной надписи — вывод дополнительных граф основной надписи чертежей согласно ДСТУ Б А.2.4-4-99 (ГОСТ 21.1101-2013);

Сейсмическое воздействие — эта опция активизируется в тех случаях, когда при конструировании необходимо учитывать правила проектирования зданий с железобетонным каркасом, возводимых в сейсмических районах.

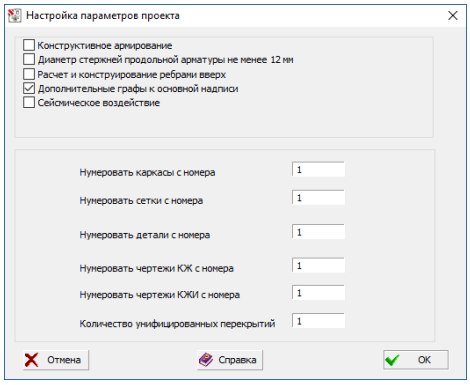


Рис. 11.3.1-1. *Диалоговое окно* **Настройка параметров проекта**

Кроме того, окно **Настройка параметров проекта** включает поля ввода для назначения стартового номера при нумерации каркасов, сеток и деталей, а также чертежей КЖ и КЖИ (по умолчанию 1), что позволяет организовать сквозную нумерацию в проекте, состоящем из нескольких перекрытий.

Для получения сводных спецификаций и ведомостей для нескольких одинаковых перекрытий следует указать их количество в поле ввода **Количество унифицированных перекрытий**. В этом случае будет получено суммарное количество изделий и суммарный расход арматуры и бетона на все указанные перекрытия.

11.3.2 Дерево управления проектом

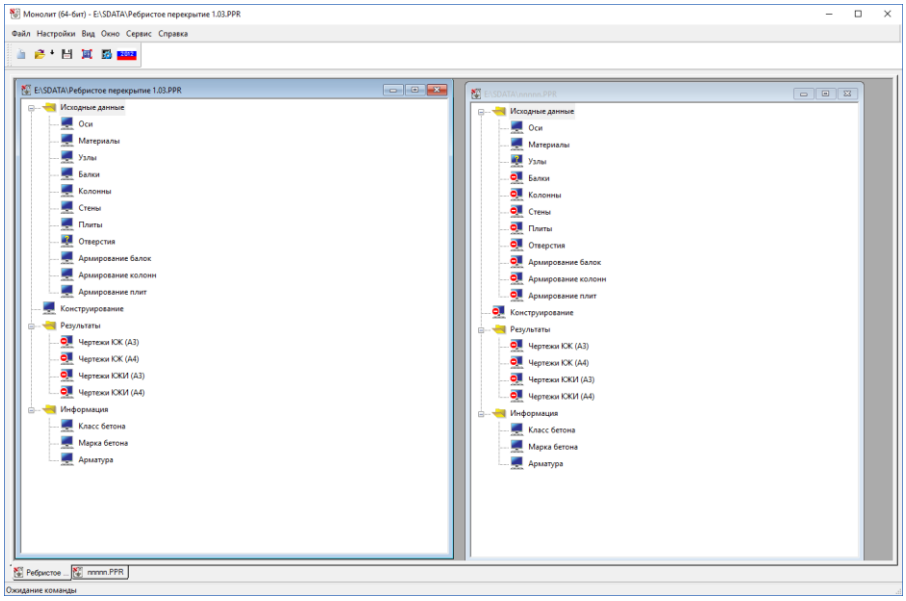


Рис. 11.3.2-1. Дерево управления проектом (справа — состояние дерева при создании нового проекта)

Дерево управления проектом выводится в окне проекта (рис. 11.3.2-1) и имеет четыре уровня: **Исходные данные**, **Конструирование**, **Результаты** и **Информация**. Разделы первого уровня соответствуют видам исходных данных. Некоторые из этих данных являются обязательными, например, координационные оси и узлы, без задания которых невозможно задать информацию о конструктивных элементах. Другие данные могут отсутствовать, например, стены, если каркас включает только колонны, или колонны, если перекрытия опираются только на стены.

В дереве управления проектом принята следующая система условных обозначений:

— знак «проезд запрещен»:

- в разделе **Исходные данные** означает, что в данный момент этот вид исходных данных не может быть задан из-за отсутствия необходимой для его ввода информации (например, узлов — для ввода конструктивных элементов, или перекрытий — для ввода параметров отверстий);
- в разделе **Конструирование** означает, что для выполнения расчета недостаточно данных;
- в разделе **Результаты** — не выполнено конструирование (расчет);

— «вопросительный знак» в разделе исходных данных означает, что данный вид информации не задан.

Знак — во всех разделах дерева проекта означает, что информация подготовлена или действие доступно.

Для перехода в любой из разделов дерева достаточно подвести курсор к его наименованию и нажать левую кнопку мыши.

11.3.3 Загрузка существующего проекта

Для загрузки ранее созданного проекта используется операция **Открыть** в разделе меню Файл или на инструментальной панели. При этом выполняются действия, принятые в среде Windows при открытии документа, а именно: появляется диалоговое окно **Открыть (Open)**, в котором выбирается папка, в которой сохраняется проект и имя файла проекта.

После выхода из диалогового окна в рабочем поле появляется окно с деревом управления проектом.

11.3.4 Передача данных из препроцессора Форум в программу Монолит

Эта операция (активируемая на закладке **Схема**) предназначена для формирования входных данных программы **Монолит** на основе информации о конструктивных (укрупненных) элементах, заданных в препроцессоре **Форум** (рис. 11.3.4-1). В общем случае, если параметры конструктивных элементов и их положение в схеме не противоречат правилам, положенным в основу представления объекта проектирования в программе **Монолит**, то после выполнения указанной операции будет сформирован файл с расширением **.opr**, который может быть импортирован в эту программу (рис. 11.3.4-2).

В составе исходных данных могут быть конструктивные элементы плит, колонн, балок и стен. Все эти элементы должны принадлежать одному этажу (блоку в терминах программы **Форум**).

Если схема, созданная в **Форуме**, состоит из одного блока и элементы, входящие в этот блок, образуют ребристое перекрытие, то файл такого проекта с расширением **.opr** может быть загружен в **Монолит** без использования рассматриваемой операции. При этом все элементы, характеристики которых не соответствуют параметрам **Монолит**а, в результирующий проект импортированы не будут.

В случае, если исходный проект в **Форуме** включает перекрытия, лежащие в разных уровнях, состоит из нескольких блоков или в **Монолит** передается только часть этажа, рекомендуется следующий порядок работы для подготовки схемы к экспорту:

Вариант А.

Фрагментировать исходную схему таким образом, чтобы в окне осталась только экспортируемая часть (если экспортируется целый блок, то в дереве проекта следует деактивировать все остальные блоки);

Активировать операцию **Экспорт в Монолит**;

В появившемся диалоговом окне **Экспорт в Монолит** выбрать опцию **Видимый фрагмент**;

Выйти из окна по кнопке **Ок**;

В стандартном окне **Сохранить как…** задать имя файла с расширением **.opr** с экспортируемой схемой.

Вариант Б.

Выбрать на расчетной схеме все экспортируемые элементы;

Активировать операцию **Экспорт в Монолит**;

В появившемся диалоговом окне **Экспорт в Монолит** выбрать опцию **Отмеченные элементы**;

Выйти из окна по кнопке **Ок**;

В стандартном окне **Сохранить как…** задать имя файла с расширением **.opr** с экспортируемыми элементами.

Вариант В.

Выбрать (отметить) экспортируемые перекрытия;

Активировать операцию **Экспорт в Монолит**;

В появившемся диалоговом окне **Экспорт в Монолит** выбрать опцию **Отмеченные перекрытия и примыкающие элементы**;

Выйти из окна по кнопке **Ок**;

В стандартном окне **Сохранить как…** задать имя файла с расширением .opr с экспортируемыми элементами.

Загрузка проекта с расширением .opr в программу Монолит выполняется из раздела **Импорт** меню **Файл**.

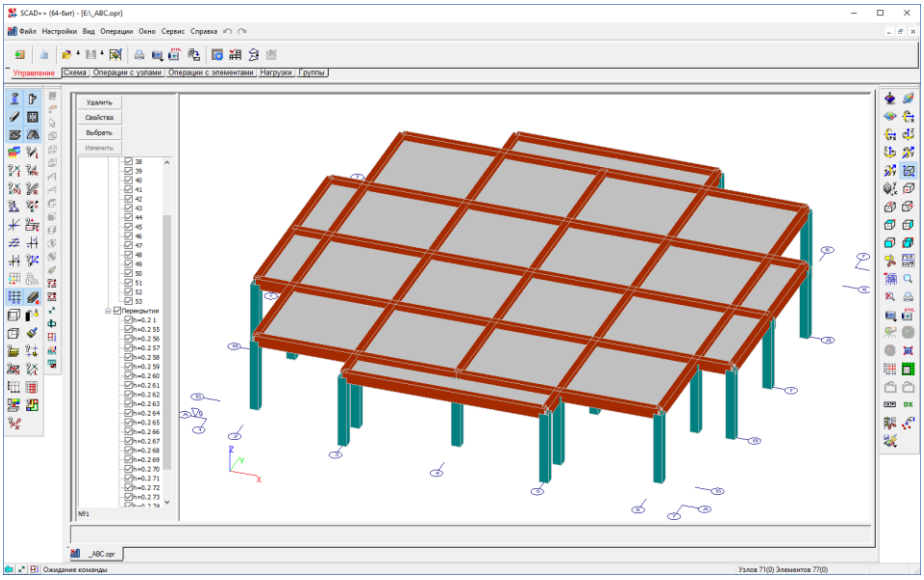


Рис. 11.3.4-1. Модель в препроцессоре **Форум**

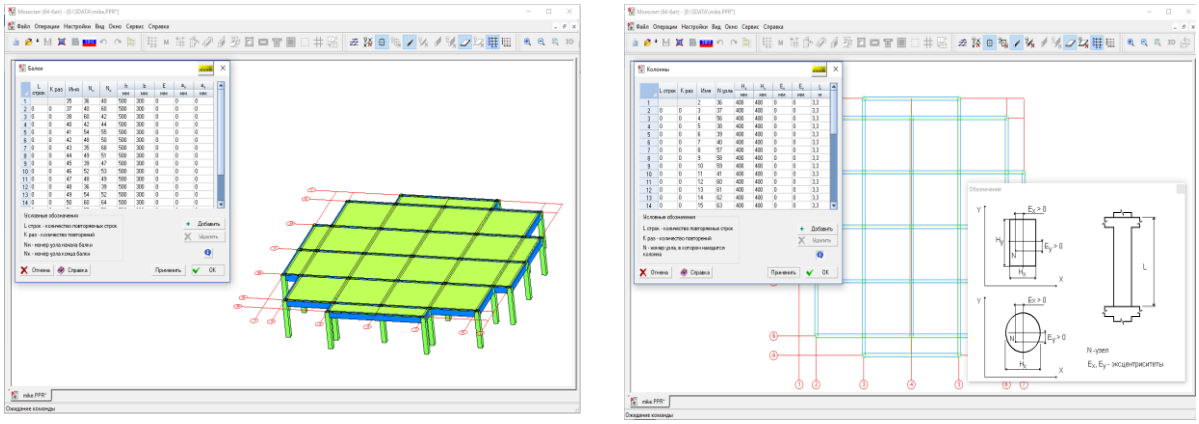


Рис. 11.3.4-2. Модель, импортированная в программу **Монолит**

11.3.5 Сохранение проекта

Для сохранения проекта используются операции **Сохранить** и **Сохранить как…**. В первом случае проект будет сохраняться в файле под своим текущим именем. Во втором случае — имя файла и/или его место хранения следует задать. Операция **Сохранить как…** выполняется в одноименном стандартном диалоговом окне.

11.3.6 Управление окнами в многооконной среде

Поскольку многодокументный интерфейс позволяет загрузить одновременно несколько проектов, то рассмотрим управление окнами в многооконной среде.

Размер окна для каждого из проектов устанавливает пользователь. При этом максимальный размер соответствует текущему размеру рабочего поля главного окна. Если на экране одновременно открыты окна нескольких проектов, то активным может быть только одно из них. Для передачи управления (активизации) конкретному окну достаточно указать курсором на его закладку (в нижнем левом углу главного окна) или на любую видимую часть этого окна. При этом управление будет передано не только окну, но и проекту, к которому относится это окно.

Здесь и далее под понятием «указать курсором» подразумевается такая последовательность действий, при которой курсор подводится к интересующему объекту и нажимается левая кнопка мыши.

В программе предусмотрено использование стандартных операций среды Windows по упорядочиванию положения нескольких окон на экране. Вызов этих операций выполняется из раздела меню **Окно**. Операции позволяют расположить окна по следующим правилам:

Каскад — окна располагаются одно под другим таким образом, что на экране полностью видно одно активное окно, в то время как у окон других проектов видны только наименования (рис. 11.3.6-1);

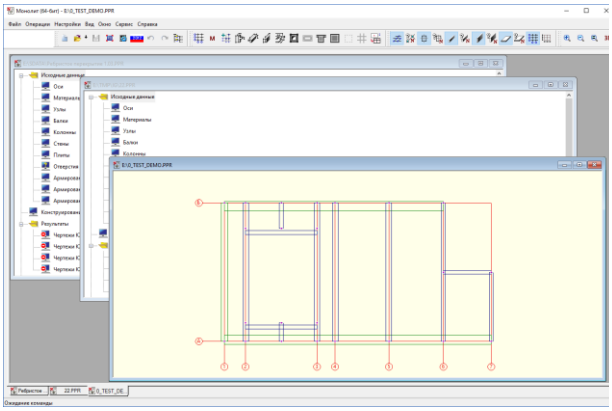


Рис. 11.3.6-1. Расположение **Каскад**

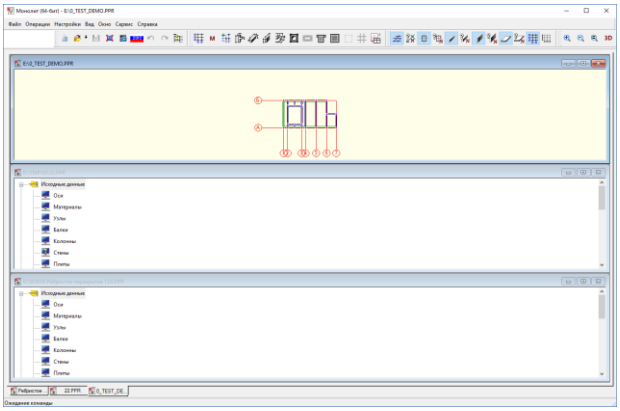


Рис. 11.3.6-2. Расположение **Черепица**

Черепица — все открытые на экране окна видны полностью, и размер их зависит от количества окон и размера главного окна (рис. 11.3.6-2).

Из этого же раздела меню вызывается операция **Упорядочить иконки**, которая характерна для MDI и используется в случаях, когда одно или несколько окон свернуты. Активизация этой операции перемещает иконы свернутых окон в нижний левый угол рабочего поля главного окна..

11.3.7 Подготовка исходных данных

Для подготовки исходных данных нового проекта следует создать проект (см. раздел **Создание нового проекта** выше) и активизировать один из разделов уровня **Исходные данные** дерева проекта. При этом

область инструментальной панели главного окна будет включать набор панелей, используемых при подготовке данных.

Если переход выполнялся указанием в дереве на конкретный вид исходных данных (для новой задачи это, как правило, разделы **Оси** или **Узлы**), то будут открыты два окна — диалоговое окно, в котором задаются исходные данные выбранного раздела, и окно в рабочем поле с отображением текущего состояния конструктивной схемы. Например, если в дереве проектов был активизирован раздел **Оси**, то будут открыты диалоговое окно **Координационные оси** и окно отображения конструктивной схемы текущей задачи (рис. 11.3.7-1).

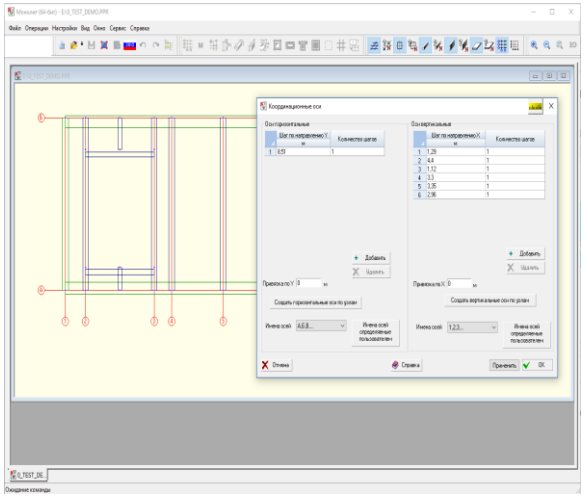


Рис. 11.3.7-1. Подготовка данных о координационных осях

Подготовка данных может быть активизирована указанием в дереве проекта непосредственно на наименование уровня (**Исходные данные**). В этом случае будет открыто только окно отображения конструктивной схемы, а диалоговое окно, в котором выполняется подготовка данных, появится после выбора вида данных в инструментальной панели или разделе меню **Операции**.

11.3.8 Работа с таблицами

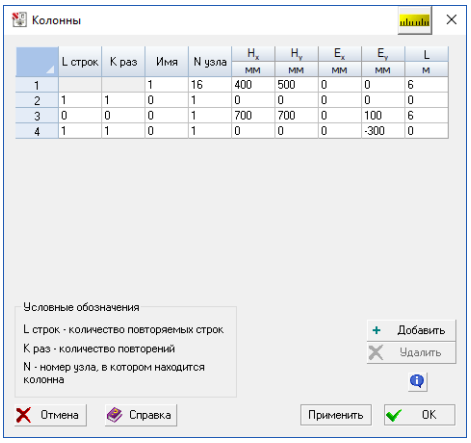


Рис. 11.3.8-1. Таблица ввода характеристик колонн

Для ввода табличной информации используются универсальные таблицы (рис. 11.3.8-1). При вводе числовых данных следует придерживаться следующих правил:

- разделителем дробной и целой части числа является точка или другой символ, назначенный пользователем при настройке операционной системы (см. **Мой компьютер | Панель управления | Язык и стандарты | Числа**). Для англоязычного варианта, соответственно, **My computer | Control Panel | Regional Settings | Number**;
- завершение ввода числа и переход к следующей ячейке таблицы выполняется клавишей **Tab**;
- введенную в таблицу информацию можно запомнить в системном буфере (**clipboard**), для этого следует выделить строки с сохраняемой информацией и нажать клавиши **Ctrl+Ins**;
- информация в таблицу может быть перенесена из системного буфера, для этого надо установить курсор в ячейку, начиная с которой вводится информация, и нажать клавиши **Shift+Ins**;
- выделение строк в таблице выполняется указанием курсора на номер строки в первом столбце таблицы (здесь и далее под «указанием курсора» следует понимать установку курсора на элемент управления и нажатие на левую кнопку мыши);
- для удаления одной или нескольких строк (блока) необходимо их выделить и нажать кнопку **Удалить** в диалоговом окне;

- для ввода новых строк в конец таблицы следует нажать кнопку **Добавить**.

11.3.9 Операции с отмеченными строками таблицы

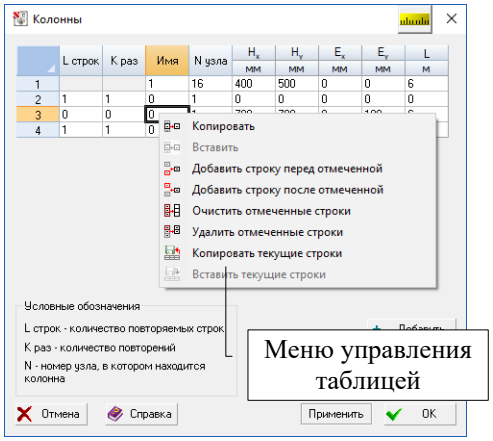


Рис. 11.3.9-1. Меню управления таблицей

Для работы с отмеченными строками или ячейками таблицы используется выпадающее **Меню управления таблицей** (рис. 11.3.9-1), которое появляется после нажатия правой кнопки мыши (если курсор установлен в поле таблицы). В программе предусмотрен набор операций с объектами таблицы, описанный в разделе 11.3.8 **Работа с таблицами**.

11.3.10 Использование повторителей

Особенностью работы с таблицами в программе является возможность повторить какую-либо информацию с определенным шагом (это касается данных, задаваемых на страницах **Узлы**, **Колонны**, **Балки**, **Стены**, **Плиты, Отверстия**). Для этого в таблицах отведены две первые графы. В первой (**L строк**) — указывается количество строк, предшествующих текущей, которые надо повторить, а во второй (**K раз**) — количество повторений. В остальных графах этой строки задаются шаги повторений, которые для каждой позиции могут быть различными как по величине, так и по знаку.

Следует учитывать, что содержимое таблиц хранится в развернутом виде. В связи с этим количество повторяемых строк (L строк) должно быть равно их фактическому количеству (с учетом ранее заданных повторителей), а не представленному в таблице. В приведенной ниже таблице по результатам записи в строке 2 первая строка будет повторяться пять раз, и колонны будут привязаны к узлам с первого по шестой включительно. В результате развернутая запись будет включать шесть строк. Выполнение операции повторения, записанной в третьей строке, приведет к тому, что первые шесть строк развернутой записи будут повторены один раз с шагом увеличения номера узла привязки на шесть (всего будет привязано двенадцать колонн к узлам 1 – 6 и 7 – 12).

	L строк	**K раз**	**Имя**	**N узла**	**H_x**	**H_y**	**E_x**	**E_y**	**L**
1			1	1	1200	350	600	150	3.3
2	1	5	0	1	0	0	0	0	0
3	6	1	0	6	0	0	0	0	0

Для диалоговых окон табличного ввода данных характерно наличие кнопки **Применить**, нажатие на которую активизирует операцию ввода данных, их контроль и одновременно отображение графической информации в окне проекта.

11.3.11 Описание координационных осей

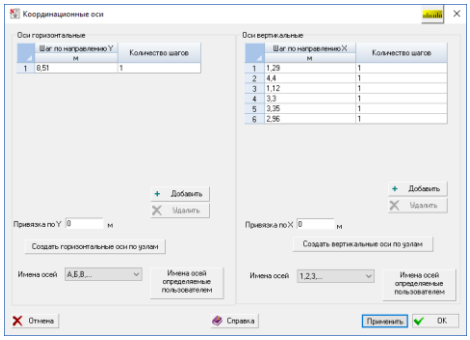


Рис. 11.3.11-1. *Диалоговое окно* **Координационные оси**

Ввод координационных осей может выполняться как до, так и после задания узлов. В первом случае координационные оси будут являться основой для построения сетки узлов, которые можно **автоматически** породить на пересечении осей. Во втором случае оси будут построены на основе всех заданных узлов, и каждый узел будет рассматриваться как точка пересечения осей.

Ввод координационных осей выполняется в одноименном диалоговом окне (рис. 11.3.11-1). Окно включает две таблицы — **Оси горизонтальные** и **Оси вертикальные**. В первой таблице задается шаг осей, идущих вдоль направления оси Y и количество повторяющихся шагов. Если оси привязываются к точке, **координаты** которой по оси Y отличны от нуля, то в поле ввода данных **Привязка по Y** задается величина смещения. Аналогично описываются вертикальные оси, проходящие вдоль оси X.

Если имена осей отличаются от установленных по умолчанию (для горизонтальных осей — буквенные в порядке следования по алфавиту, а вертикальных — цифровые в порядке возрастания), для их переименования можно воспользоваться кнопкой **Имена осей, определяемые пользователем**.

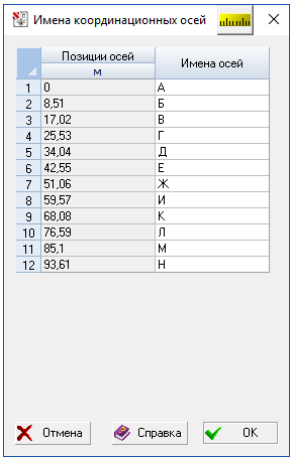


Рис. 11.3.11-2. *Диалоговое окно* **Имена координационных осей**

В диалоговом окне **Имена координационных осей** (рис. 11.3.11-2) заменить установленные программой имена на другие (до трех символов).

Оси появляются в окне проекта после нажатия кнопки **Применить**.

Если ввод осей выполняется на ранее заданных узлах, то их автоматическая генерация будет выполнена после нажатия кнопок **Создать горизонтальные оси по узлам** и **Создать вертикальные оси по узлам**.

Отображение осей выполняется в окне проекта нажатием кнопки фильтров — **Показать координационные оси**, а размерных линий на осях — кнопки — **Показать размерные линии**.

11.3.12 Ввод характеристик материалов

Характеристики используемых материалов задаются в диалоговом окне **Материалы** (рис. 11.3.12-1). Здесь назначаются виды материалов (бетон и арматура), которые будут использованы при проектировании перекрытия.

Класс бетона единый для всего перекрытия выбирается из одноименного списка. Для бетона также выбирается вид бетона, степень готовности бетонной смеси, марка по удобоукладываемости, марка по морозостойкости и марка по водонепроницаемости, а для легкого бетона — марка по средней плотности.

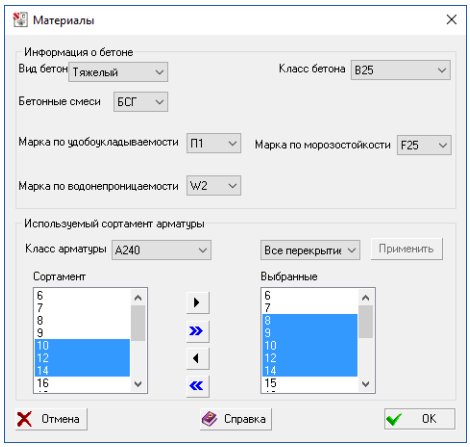


Рис. 11.3.12-1. *Диалоговое окно* **Материалы**

Для каждого класса арматуры, используемого в перекрытии, может быть назначен допустимый для применения набор диаметров. Для назначения этого набора следует выбрать в списке **Класс арматуры** наименование класса. После этого в список **Сортамент** будет помещен перечень всех диаметров арматуры данного класса. Одновременно этот перечень помещается и в список **Выбранные**. Если из списка **Выбранные** не удалялись данные, то это означает, что при проектировании перекрытия можно использовать весь сортамент данного класса. В противном случае использоваться будут только те диаметры арматуры, которые остались в списке.

Управление переносом данных из левого списка в правый выполняется с помощью двух кнопок. Кнопка позволяет перенести в правый список только отмеченные в левом списке позиции. Кнопка переносит в правый список все содержимое левого списка.

Аналогично выполняется корректировка позиций правого списка. Для удаления только выбранных позиций используется кнопка , а для полной очистки правого списка – кнопка . После проведенных изменений в выбранном классе арматуры необходимо *обязательно* зафиксировать их, нажав кнопку **Применить**.

При необходимости ввести разные ограничения сортамента для различных конструктивных элементов (балки, плиты, колонны) следует из правого выпадающего списка группы **Используемый сортамент арматуры** выбрать строку с наименованием конструктивного элемента, назначить класс арматуры и список допустимых диаметров, после чего нажать кнопку **Применить**. Если сделанные назначения распространяются на все перекрытие, следует в правом списке выбрать признак **Все перекрытие** (этот признак установлен по умолчанию).

11.3.13 Узлы

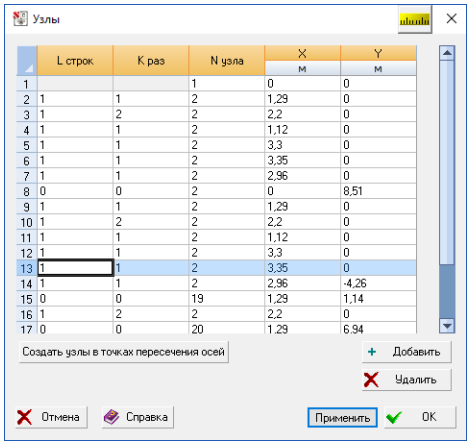


Рис. 11.3.13-1. *Диалоговое окно* **Узлы**

Геометрия перекрытия задается на ортогональной сетке узлов. В качестве узлов сетки используются геометрические места соединения конструктивных элементов перекрытия — балок, стен, колонн, плит. Положение узлов описывается в таблице (рис. 11.3.13-1) двумя координатами **X**, **Y** плоскости, на которой расположено перекрытие. Каждая строка содержит пять граф.

Первые две графы используются при работе с повторителями.

В третьей графе задается номер узла схемы (**N узла**). Узлы не должны иметь одинаковые номера. За этим необходимо следить, особенно при использовании повторителей.

В четвертой и пятой — координаты узла в метрах (**Xм** и **Yм**, соответственно).

Использование кнопки **Применить** допускается на любом шаге подготовки данных, что позволяет проконтролировать заданную информацию графически в окне проекта.

Если ввод узлов выполняется на ранее заданных осях, то их автоматическая генерация будет выполнена после нажатия кнопки **Создать узлы в точках пересечения осей**.

11.3.14 Колонны

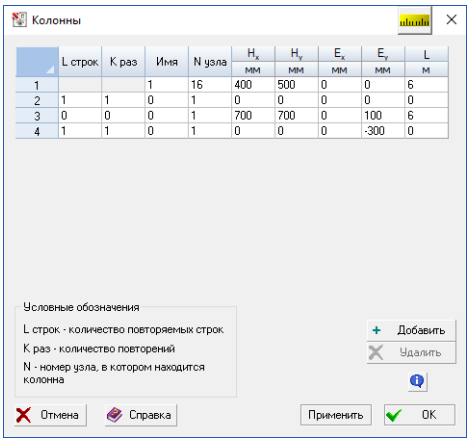


Рис. 11.3.14-1. *Диалоговое окно* **Колонны**

В диалоговом окне **Колонны** (рис. 11.3.14-1) описываются сечения и размещение колонн, на которые опираются балки и плиты. Данные вводятся в девяти графах таблицы.

Первые две графы используются для описания повторителей.

В *третьей графе* (**Имя**) указывается имя колонны — число, которое на чертеже будет приписано к буквам «Км» (например, если введено число 7, то имя колонны будет Км7). Числа могут быть любые, т.е. не обязательно по порядку и по возрастанию.

В *четвертой графе* (**N узла**) задается номер узла, в котором расположена колонна.

В *пятой* (**Hx**) и *шестой* (**Hy**) *графах* — размеры сечения колонны в миллиметрах, по направлению осей X и Y, соответственно. Для колонн круглого сечения вместо **Hx** задается диаметр, **Hy** при этом должен быть равен нулю.

В *седьмой и восьмой графах* задаются эксцентриситеты **Ex** и **Ey** расположения колонны относительно узла привязки (в миллиметрах).

В *девятой графе* (**L**) задается длина колонны в метрах. Длина колонны — это расстояние от основания колонны до верха проектируемого перекрытия.

Правила задания эксцентриситетов и длины колонны приведены в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

При нажатии кнопки **Применить** в окне проекта отображаются колонны и их имена.

11.3.15 Балки

В диалоговом окне **Балки** (рис. 11.3.15-1) описываются балки, образующие перекрытие. Балки могут располагаться только вдоль осей координат. В программе реализовано понятие *унифицированная группа балок*. В одну группу входят балки, у которых совпадают следующие характеристики:

- размеры сечения;
- длина (с учетом опирания на кирпичную стену);
- количество опорных узлов;
- расстояние между соответствующими опорными узлами;
- армирование.

Все балки группы должны иметь одно (оригинальное) имя.

Таблица описания состоит из десяти граф.

Первые две графы используются для описания повторителей.

В третьей графе (**Имя**) указывается имя балки. Это число, которое на чертеже будет приписано к буквам «Бм» (например, если введено число 12, то имя балки будет Бм12).

В четвертой графе задается номер узла **Nн**, в котором балка начинается, а *в пятой* — номер узла — **Nк**, в котором балка заканчивается. Желательно описывать балку в порядке возрастания координат узлов начала и конца балки.

В шестой графе необходимо указать высоту сечения балки **h** (в миллиметрах) (высота балки — расстояние от нижней грани балки до верхней грани балки, совпадающей с верхом плиты перекрытия), а *в седьмой* — ее ширину **b** (в миллиметрах).

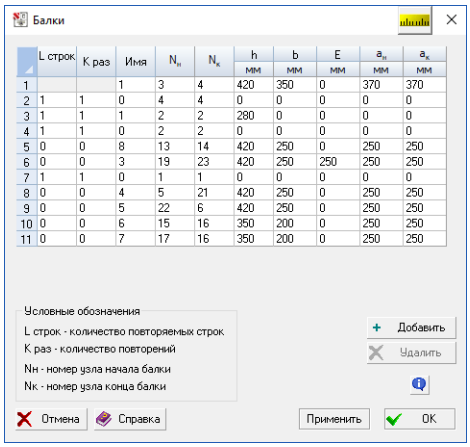


Рис. 11.3.15-1. *Диалоговое окно* **Балки**

В восьмой графе (**E**) задается эксцентриситет (смещение) расположения балки относительно ближайшей геометрической оси ортогональной сетки, проходящей через крайние узлы балки. Правило задания смещений описано в информационном окне, которое вызывается нажатием на кнопку .

Если начало балки опирается на кирпичную стену, то в *девятой графе* (**aн**) необходимо задать глубину опирания (в миллиметрах).

Если конец балки опирается на кирпичную стену, то в *десятой графе* (**aк**) необходимо задать глубину опирания (в миллиметрах).

Если балка опирается на кирпичные стены двумя концами и глубина опирания на обоих концах одинакова, то можно задать только **aн**. Если глубина опирания не задана, то значения **aн** и **aк** будут приняты согласно [3] и будет выдано соответствующее предупреждение. Если балка не опирается на кирпичную стену, то графы не заполняются.

Если нажать кнопку **Применить**, то в окне проекта отображается расположение балок на схеме перекрытия.

11.3.16 Стены

В этом диалоговом окне (рис. 11.3.16-1) описываются стены, на которые опираются перекрытия.

Описание стен выполняется по следующим правилам:

Первые две графы используются для описания повторителей.

В третьей графе задается имя стены — **Имя**. Это число, которое будет приписано к букве «С» (если стена кирпичная) или к буквам «См» (если стена монолитная) на чертеже (например, если введено число 5, имя стены будет С5 — кирпичная или См5 — монолитная).

В четвертой графе — номер узла **Nн**, в котором начинается стена, а *в пятой* — номер узла **Nк**, в котором стена заканчивается. Желательно стены описывать в порядке возрастания координат узлов начала и конца стены.

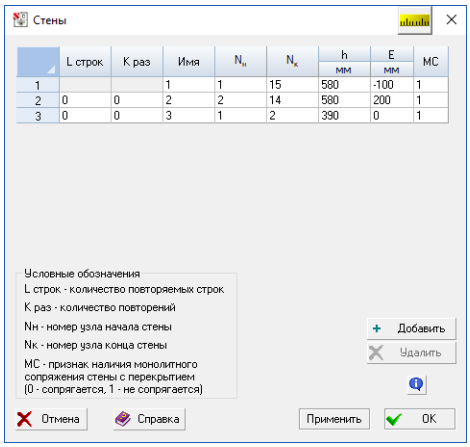


Рис. 11.3.16-1. *Диалоговое окно* **Стены**

В шестой графе задается толщина стены **h** (в миллиметрах).

В седьмой графе — смещение стены **E** относительно ближайшей геометрической оси ортогональной сетки, проходящей через крайние узлы стены (в миллиметрах). Правило задания смещений описано в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В восьмой графе необходимо задать признак наличия монолитного сопряжения стены с перекрытием — **MC**. Если стена железобетонная, то MC = 0, что означает монолитное сопряжение стены с перекрытием, если кирпичная, то MC = 1, т. е. нет монолитного сопряжения стены с перекрытием.

Если нажать кнопку **Применить**, то в окне проекта отображается расположение стен на схеме перекрытия.

11.3.17 Плиты

В диалоговом окне **Плиты** (рис. 11.3.17-1) задается информация о плитах перекрытия. В случае ребристого перекрытия речь идет об участках, ограниченных со всех сторон балками или стенами (допускается случай, когда края плиты не закреплены — консольные свесы).

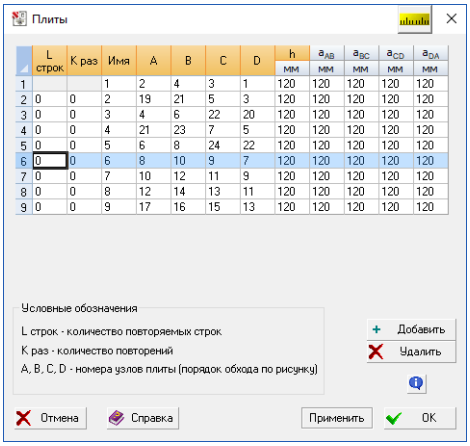


Рис. 11.3.17-1. *Диалоговое окно* **Плиты**

Плиты могут быть только прямоугольной формы. В программе реализовано понятие **унифицированная группа плит**. В одну группу входят плиты, у которых совпадают следующие характеристики:

- размеры (с учетом опирания на кирпичную стену);
- характер опирания по контуру;
- армирование.

Все плиты группы должны иметь одно (оригинальное) имя.

Первые две графы таблицы используются для описания повторителей.

В третьей графе (**Имя**) задается имя участка плиты — это число, которое будет приписано к буквам «Пм» на чертеже (например, если введено число 8, то имя плиты будет Пм8).

С четвертой по седьмую графы задаются номера узлов, описывающих плиту в порядке следования узлов **A**, **B**, **C**, **D**, указанном на рисунке 11.3.17-2. Кроме того, правило задания плит описано в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В восьмой графе задается толщина плиты **h** (в миллиметрах).

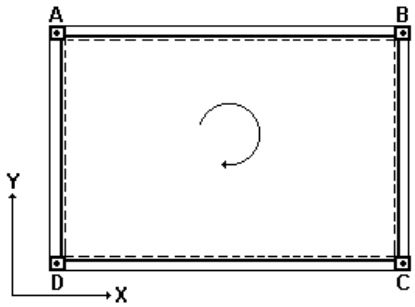


Рис. 11.3.17-2. Правила описания плиты

В графах с девятой по двенадцатую задается глубина опирания соответствующей стороны плиты на кирпичную стену **aAB, aBC, aCD, aDA** (в миллиметрах). Они заполняются только при наличии такого опирания.

Если на кирпичные стены опираются две и более стороны плиты и глубина опирания одинакова, то можно задать информацию только для первой опирающейся стороны. Если глубина опирания не указана, то ее значение будет принято согласно [3]. В тех случаях, когда ряд плит имеют одинаковые параметры, но опираются на стены разными гранями, допускается задать глубину опирания для всех граней каждой плиты. Это позволит включить все плиты в одну группу унификации.

После нажатия кнопки **Применить** в окне проекта будут показаны заданные плиты.

11.3.18 Отверстия

В этом диалоговом окне (рис. 11.3.18-1) задается информация об отверстиях (проемах) в плитах перекрытия. Отверстия могут быть только прямоугольной и круглой формы. Если указать имя унифицированной группы плит, то отверстия будут во всех плитах, входящих в эту группу.

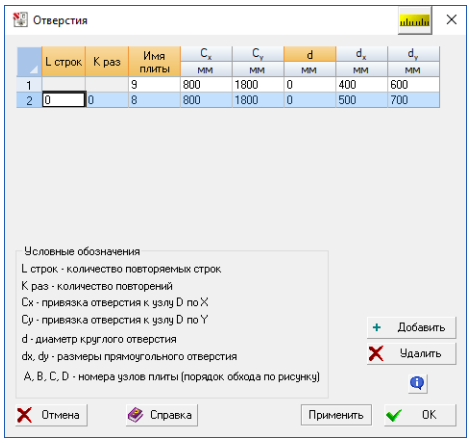


Рис. 11.3.18-1. *Диалоговое окно* **Отверстия**

Первые две графы таблицы используются для описания повторителей.

В третьей графе задается имя плиты, в которой находится отверстие. **Имя плиты** — это число, которое приписывается к букве «Пм» (см. страницу **Плиты**).

В четвертой графе задается привязка центра отверстия по оси X (**Cx**) к левому нижнему узлу плиты (узел **D**) в миллиметрах.

В пятой графе задается привязка центра отверстия по оси Y (**Cy**) к левому нижнему узлу плиты (узел **D**) в миллиметрах.

В шестой графе задается диаметр отверстия (**d**) в миллиметрах, если отверстие круглое (в противном случае - ноль).

В седьмой и восьмой графах задаются размеры прямоугольного отверстия (**dx** и **dy**) в миллиметрах (для круглых отверстий - нули).

Правило описания отверстий иллюстрировано в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В выходных документах привязка отверстия дается к ближнему углу плиты «в свету». Отдельно выводятся чертежи отверстий (по два на лист и в порядке их описания) с обрамляющими стержнями и их размерами.

Примечания:

Если в схеме перекрытия есть отверстия, обрамленные армированными ребрами, то их не надо специально вносить в документ **Отверстия**. Для их описания достаточно задать обрамляющие ребра как балки (страница **Балки)**, считая, что участок перекрытия между этими балками (ребрами) отсутствует.

Рекомендуется задавать только одно отверстие на одну плиту.

11.3.19 Армирование плит (ребристые перекрытия)

В диалоговом окне **Армирование плит** (рис. 11.3.19-1) задается необходимая для конструирования перекрытия информация об армировании плит, которая состоит из двух частей. Первая часть содержит информацию, относящуюся ко всему перекрытию, — класс и стандарт рабочей и распределительной арматуры, величины защитных слоев и максимальная ширина сварных сеток. Вторая часть включает данные о площади верхней и нижней продольной арматуры вдоль направления осей X и Y и задается для каждой плиты отдельно. Эти данные вводятся в таблице, которая содержит восемь граф.

Первые четыре графы заполняются автоматически на основе информации, заданной на странице **Плиты**.

В первой графе **Имя** — записано имя плиты, для которой будут задаваться данные.

Во второй графе **Область** — записаны условные обозначения сторон (граней) плиты опертых на балку, стену или свободных (например, **A-B)**, а также **Поле** — центральная зона плиты (рис. 11.3.19-2). Ширина краевых зон плиты принята равной 0.25 размера плиты в соответствующем направлении. **Поле** — оставшаяся центральная часть пространства плиты.

В третьей и четвертой графах записаны номера узлов плиты, к которым прилегает грань.

Следующие четыре графы заполняются значениями погонной площади арматуры (см^2/м) — **ASXв** и **ASXн**, соответственно, верхней и нижней вдоль оси X; **ASYв** и **ASYн** — верхней и нижней вдоль оси Y (рис. 11.3.19-3). Если информация о площади арматуры получена в результате расчета с помощью

комплекса **SCAD**, то выполняется соответствие ASXв ⇒ AS2, ASXн ⇒ AS1, ASYв ⇒ AS4 и ASYн ⇒ AS3. Причем для конечных элементов, расположенных в полосе, примыкающей к рассматриваемой грани плиты, находим максимальные значения площадей в направлениях вдоль рассматриваемой грани и перпендикулярных ей (вверху плиты и внизу).

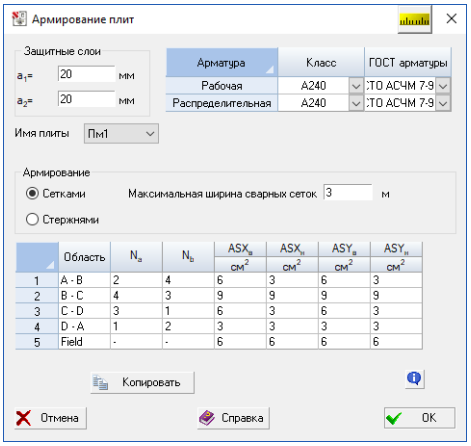


Рис. 11.3.19-1. *Диалоговое окно* **Армирование плит**

Рекомендуется придерживаться следующего порядка подготовки данных на этой странице:

- назначить класс рабочей и распределительной арматуры, а также стандарт на выбранный сортамент арматуры;
- ввести величины защитных слоев;
- назначить максимальную ширину сварных сеток, если армирование выполняется сетками, или арматурных стержней, если армирование выполняется отдельными стержнями;
- из списка плит выбрать плиту, для которой будут задаваться данные (выбранная плита будет выделена на схеме в окне проекта);
- заполнить таблицу.

После заполнения таблицы выбрать в списке следующую плиту и заполнить для нее только таблицу, так как вся остальная заданная информация относится ко всем плитам перекрытия.

В тех случаях, когда характеристики армирования плиты могут быть целиком или частично взяты из характеристик, заданных ранее для другой плиты, можно воспользоваться кнопкой **Копировать**. В диалоговом окне **Копирование** выбирается номер (имя) плиты, характеристики армирования которой копируются для текущей плиты.

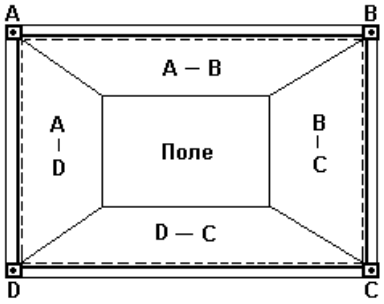


Рис. 11.3.19-2. Зоны описания арматуры в плите

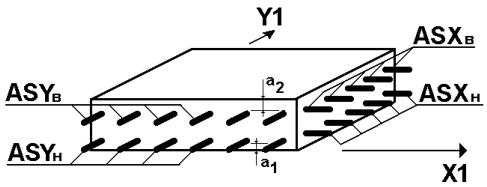


Рис. 11.3.19-3. Размещение арматуры в плите

Правило задания арматуры в плитах показано в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В группе **Армирование** диалогового окна предоставлена возможность назначить армирование плиты сетками или раздельными стержнями (во втором случае задается максимальная длина стержней).

Следует обратить внимание, что список **Имя плиты** будет включать только оригинальные имена, т.е. одинаковые имена повторяться не будут. Если в проекте предусмотрены унифицированные группы, то в списке будет приведено имя только первой плиты группы с перечнем соответствующих ей узлов.

Чертежи с результатами проектирования, а также другие проектные документы по каждой группе плит (**Сетки**, **Ведомость расхода стали**, **Спецификация по плитам**, **Спецификация сводная**), будут включать информацию по всем плитам групп.

11.3.20 Армирование балок

В этом диалоговом окне (рис. 11.3.20-1) задается необходимая для конструирования информация об армировании балок. Информация включает данные о площади верхней и нижней продольной, а также поперечной арматуры, классе и стандартах арматуры, величине защитного слоя.

Балки делятся на два вида **Главные** и **Второстепенные**. У *второстепенной* балки **опорными** могут быть все узлы. Такими узлами балка может примыкать к колонне, стене или другой балке. Если на балку опираются другие балки, то такая балка считается *главной*, и некоторые ее узлы могут оказаться не опорными. Например, это могут быть узлы, на которые опираются второстепенные балки.

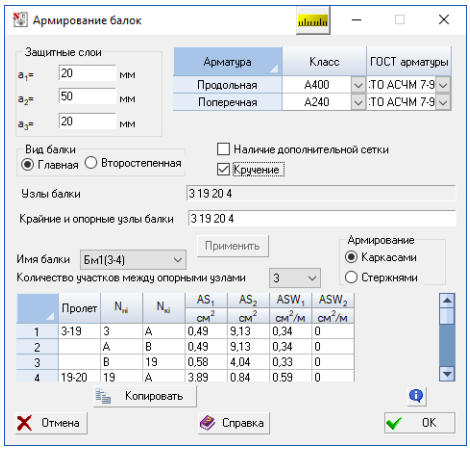


Рис. 11.3.20-1. *Диалоговое окно* **Армирование балок**

Вид балки назначается с помощью кнопок-маркеров. В поля ввода **Узлы** и **Крайние и опорные узлы балки** выводятся списки всех узлов, через которые проходит балка. При этом, во втором поле (*Опорные и крайние узлы балки*) список необходимо откорректировать, удалив из него номера неопорных узлов. Это означает, что в балке площадь арматуры всегда задается только на участках между опорными узлами.

Данные о площади арматуры вводятся в таблице, включает информацию только об одной балке. Информация разбита на секции по количеству пролетов между опорными узлами балки. **Пролет** — это часть балки между опорными узлами или одним опорным узлом и крайним незакрепленным узлом (в случае консоли). Площадь арматуры назначается для заданного количества участков между опорными узлами пролета (значение указывается в одноименном поле ввода), а в случае наличия незакрепленного узла — между ним и опорным узлом.

Рис. 11.3.20-2. Пример описания пролета при трех участках разбиения

После назначения вида балки, количества участков между опорными узлами и списка опорных узлов необходимо нажать кнопку **Применить**. После этого количество и размер секций в таблице будут откорректированы в соответствии с заданным количеством пролетов и участков.

Первые три графы таблицы заполняются автоматически и включают следующие данные:

первая графа — номера узлов начала и конца пролета (**Nн** и **Nк**);

вторая и третья графы — идентификаторы участка в пролете (**Nнi**, **Nкi**), например, если пролет балки между узлами 33 и 34 разделен на три участка, то участки будут называться: 33-A, A-B, B-34;

четвертая графа — площадь нижней продольной арматуры на участке — **AS1** ($см^2$);

пятая графа — площадь верхней продольной арматуры на участке — **AS2** ($см^2$);

шестая графа — площадь вертикальной поперечной арматуры на участке — **ASWz** ($см^2/м$) ;

седьмая графа — площадь горизонтальной поперечной арматуры на участке — **ASWy** ($см^2/м$). Она задается, если необходимо учесть воздействие на балку перерезывающей силы. Если эта графа не заполнена, то ставится конструктивная арматура, соединяющая каркасы.

Рекомендуется придерживаться следующего порядка подготовки данных на этой странице:

- из списка **Имя балки** выбрать балку, для которой будут задаваться данные (выбранная балка будет выделена на схеме);
- назначить класс продольной и поперечной, а также стандарт на выбранный сортамент арматуры;
- ввести величины защитных слоев;
- установить вид балки и откорректировать список опорных узлов для главной балки;
- назначить количество участков между опорными узлами;
- нажать кнопку **Применить** для корректировки описания секций в таблице;
- заполнить таблицу.

После заполнения таблицы выбрать в списке следующую балку и повторить приведенные выше операции.

В тех случаях, когда характеристики армирования балки могут быть целиком или частично взяты из характеристик, заданных ранее для другой балки, можно воспользоваться кнопкой **Копировать**. В диалоговом окне **Копирование** выбирается номер (имя) балки, параметры армирования которой копируются для текущей балки.

Правила задания арматуры в балках описаны в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В группе **Армирование** диалогового окна предоставлена возможность назначить армирование балки сварными каркасами или раздельными стержнями (без отгибов).

Следует обратить внимание, что в списке **Имя балки** будут только оригинальные имена, т.е. одинаковые имена балок повторяться не будут. Если в проекте предусмотрены унифицированные группы балок, то в списке будет указана только первая из балок группы с соответствующими ей узлами.

Чертежи с результатами проектирования формируются только для первой балки каждой группы. Во всех остальных проектных материалах (**Каркасы**, **Ведомость расхода стали**, **Спецификация сводная**) будут учтены все балки, входящие в группы.

Если подбор арматуры в балке выполнялся с учетом кручения, то следует активировать маркер **Кручение**. При этом в процессе конструирования будут учитываться соответствующие рекомендации, как для вязаной арматуры, так и для сварных каркасов.

При возможном огневом воздействии на перекрытие для балок вводится дополнительное армирование в виде арматурной сетки, для установки которой необходимо активировать маркер **Наличие дополнительной сетки**.

Пример

На рисунке 11.3.20-3 показана конструктивная схема перекрытия, в которой балке Бм1 присвоен тип *Главная*. В узлах 1, 3, 4 и 6 балка примыкает к колоннам Км1, и эти узлы считаются опорными. В узлах 2 и 5 на балку Бм1 опираются второстепенные балки Бм4 и Бм5.

При подготовке данных на странице **Армирование балок** после выбора балки Бм1 и определения ее типа (*Главная*), в списке **Имя балки** следует откорректировать перечень опорных узлов, удалив из него узлы с номерами 2 и 5. После этой операции нажимается кнопка **Применить**, и в таблице армирования появляются три секции: 1-3, 3-4 и 4-6, в которых задаются значения площади арматуры. Аналогичные операции выполняем с описанием главной балки Бм3, из списка опорных узлов которой убирается узел 14.

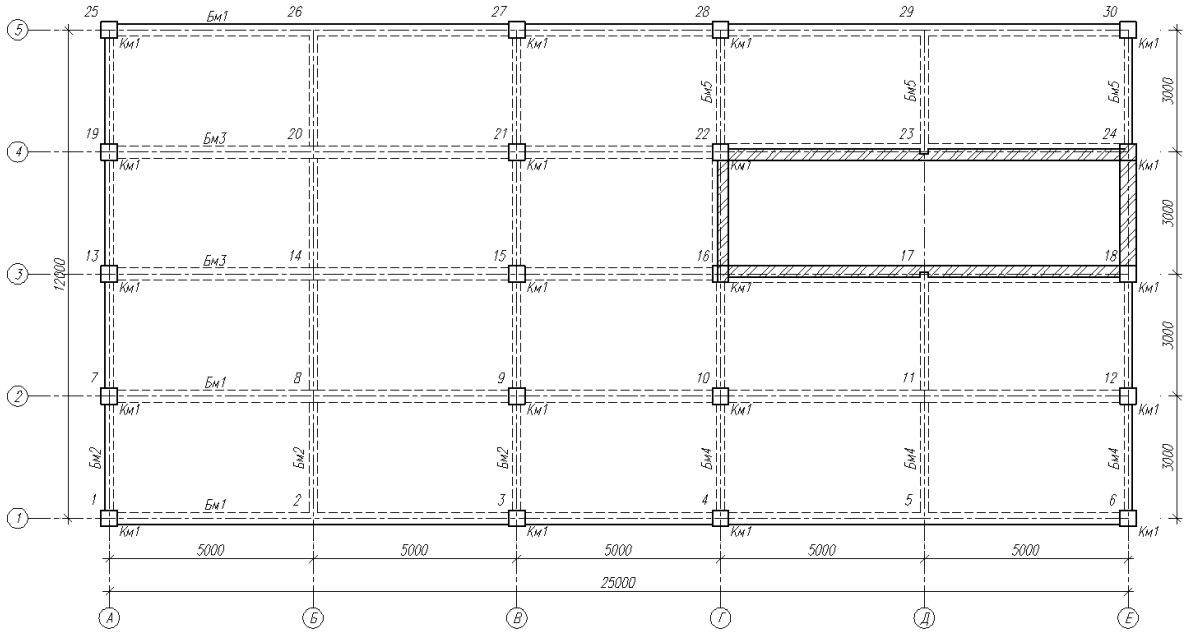


Рис. 11.3.20-3. Конструктивная схема перекрытия

11.3.21 Армирование колонн

В этом диалоговом окне (рис. 11.3.21-1) задается необходимая для конструирования информация об армировании колонн. Информация включает данные о площадях продольной и поперечной арматуры, классе и стандартах арматуры, величине защитного слоя.

В разделе **Армирование** предоставлена возможность выбора способа армирования колонн как каркасами, так и раздельными стержнями. Эта информация относится ко всем колоннам.

Так как в программе реализована унификация на уровне имен колонн, то при задании информации об арматуре достаточно описать армирование одной колонны из каждой унифицированной группы. В списке **Имя колонны** находятся оригинальные имена колонн каждой унифицированной группы. Приведенный рядом с именем номер узла относится к первой колонне в списке группы.

Данные о площади арматуры вводятся в таблице. Информация разбита на секции по количеству участков колонны. **Участок** – это часть колонны, поперечная арматура которой отлична от других участков. Количество участков может быть от двух до пяти. В нижней части колонны (выпуски из фундамента или нижнего этажа) поперечная арматура более насыщенная, чем в средней. Также более насыщенная поперечная арматура может быть в верхней части колонны. Продольная арматура по всей длине колонны одинакова, поэтому ее можно задавать только на первом участке.

Длина участка задается в метрах. При изменении числа участков количество строк в таблице будет откорректировано в соответствии с заданным количеством участков.

При задании арматуры (рис. 11.3.21-2) для прямоугольного и круглого сечения используется одна таблица, но для круглого сечения заполняются не все графы. Данные о поперечной арматуре можно задавать двумя способами. В первом случае задаются площади (третья и четвертая графы), а во втором — диаметр и шаг (шестая и седьмая графы).

Графы таблицы включают следующие данные:

первая графа – площадь продольной арматуры расположенной вдоль оси X перекрытия (для прямоугольного сечения), а для круглого сечения площадь продольной арматуры всего сечения колонны – AS1 (см2);

вторая графа – площадь продольной арматуры расположенной вдоль оси Y перекрытия (для прямоугольного сечения), а для круглого сечения не заполняется – AS3 (см2);

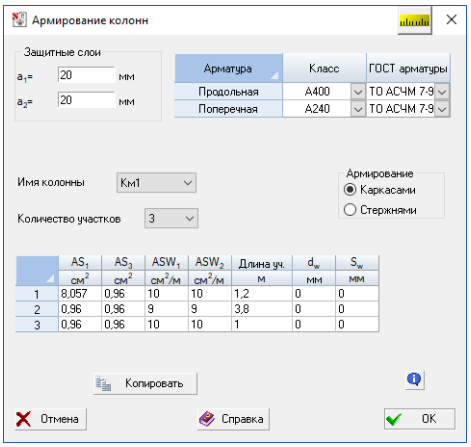


Рис. 11.3.21-1. *Диалоговое окно* **Армирование колонн**

третья графа – площадь поперечной арматуры расположенной вдоль оси Y перекрытия (для прямоугольного сечения), а для круглого сечения площадь поперечной арматуры – ASWz (см^2/м) ;

четвертая графа – площадь поперечной арматуры, расположенной вдоль оси X перекрытия (для прямоугольного сечения), а для круглого сечения не заполняется – ASWy (см^2/м);

пятая графа – длина участка (в метрах) ;

шестая графа – диаметр поперечной арматуры;

седьмая графа – шаг поперечной арматуры.

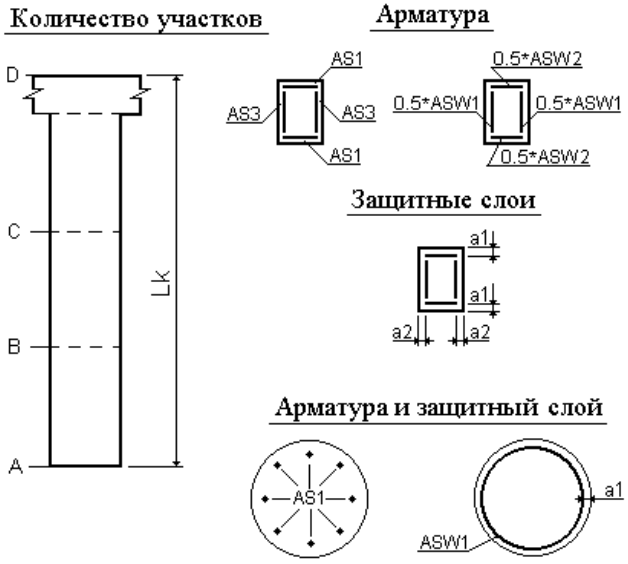


Рис. 11.3.21-2. Схемы армирования колонн

Рекомендуется придерживаться следующего порядка подготовки данных на этой странице:

- из списка колонн выбрать колонну, для которой будут задаваться данные (выбранная колонна будет выделена на схеме);
- назначить класс продольной и поперечной, а также стандарт на выбранный сортамент арматуры;
- ввести величины защитных слоев;
- назначить количество участков;
- заполнить таблицу.

После заполнения таблицы выбрать в списке следующую колонну и повторить приведенные выше операции.

В тех случаях, когда параметры арматуры в колонне не отличаются от аналогичных данных, заданных ранее, можно воспользоваться списком **Колонна-аналог**. Из него выбирается номер (имя) колонны, все значения площадей арматуры которой будут скопированы в описание текущей колонны.

Правила задания арматуры в колоннах описано в информационном окне, которое вызывается нажатием кнопки .

В группе **Армирование** диалогового окна предоставлена возможность назначить армирование колонны как сварными каркасами, так и раздельными стержнями.

Следует обратить внимание, что в списке **Имя колонны** будут только оригинальные имена, т.е. одинаковые имена колонн повторяться не будут. Если в проекте предусмотрены унифицированные группы колонн, то в списке будет указана только первая из колонн группы с соответствующим ей узлом.

Чертежи с результатами проектирования формируются только для первой колонны каждой группы. Во всех остальных проектных материалах (**Каркасы**, **Ведомость расхода стали**, **Спецификация сводная**) будут учтены все колонны, входящие в группы.

11.3.22 Разбиение плит балками

Операция позволяет при вводе исходных данных ограничиться описанием нескольких «больших» плит, разбив их в дальнейшем по линиям опирания на балки. В результате разбиения исходной плиты, будут образованы новые плиты, опирающиеся по граням на крайние и опорные узлы балок. Плиты, сформированные в результате разбиения, получат номера, следующие в порядке возрастания за максимальным номером в имени плит до разбиения. Корректировка номеров, при необходимости, может быть выполнена в таблице с описанием геометрии плиты. Разбиение следует выполнять до задания армирования плит.

11.3.23 Контроль исходных данных

Нажатие кнопок **Применить** или **ОК** в диалоговых окнах подготовки исходных данных активизирует систему контроля. Если по результатам контроля обнаружены ошибки, то появляется диалоговое окно **Результат контроля** (рис. 11.3.23-1, *а*), которое содержит таблицу со списком предупреждений (ошибок). После раскрытия списка открывается описание ошибок и замечаний, выявленных системой контроля (рис. 11.3.23-1, *б*).

а *б* *в*

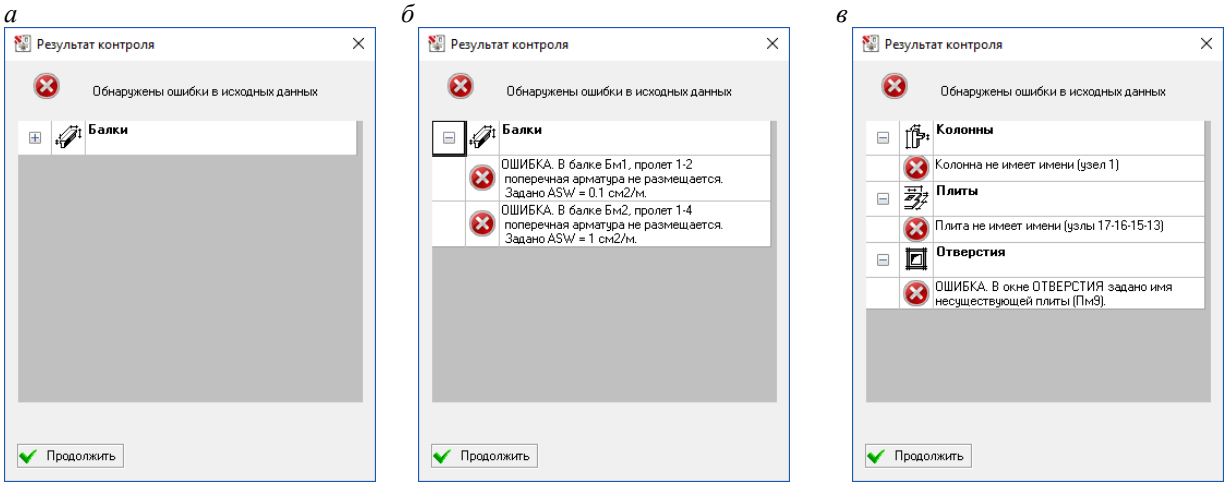


Рис. 11.3.23-1. *Диалоговое окно* **Результат контроля**

Реакция программы на кнопку **Применить** отличается от реакции на кнопку **ОК** тем, что в первом случае контроль выполняется на фоне открытого диалогового окна ввода данных, а во втором — диалоговое окно ввода закрывается.

После нажатия кнопки **Применить** (диалоговое окно ввода остается открытым) реакция программы на кнопки **Вернуться в редактирование** и **Продолжить** в окне **Результат контроля** будет одинаковой, т.е. управление будет возвращено в окно ввода.

Если контроль выполнялся по нажатию кнопки **ОК** (диалоговое окно ввода данных при этом закрывается), то по кнопке **Вернуться в редактирование** окно автоматически снова откроется для внесения в данные соответствующих корректировок. Если же нажата кнопка **Продолжить**, то состояние программы будет таким, каким оно было до появления окна **Результат контроля**. В этом случае сообщения о «пропущенных» ошибках появятся при попытке выполнить конструирование (рис. 11.3.23-1, *в*).

11.4 Конструирование

После завершения ввода исходных данных следует перейти в дерево управления проектом (кнопка — **Переход в экран управления проектом**) и выбрать режим **Конструирование**. В этом режиме выполняется контроль исходных данных и формирования выходных документов.

Если в исходных данных обнаружены ошибки или возникли ситуации, при которых конструирование не может быть выполнено, появляется окно сообщений, содержащее предупреждения и/или описание ошибок (см. раздел *Контроль исходных данных*). В противном случае выполняется проектирование перекрытия и формирование проектной документации.

Для просмотра результатов конструирования в дереве проектов предусмотрены разделы **Чертежи КЖ** и **Чертежи КЖИ**. Чертежи могут быть сформированы в форматах А3 или А4.

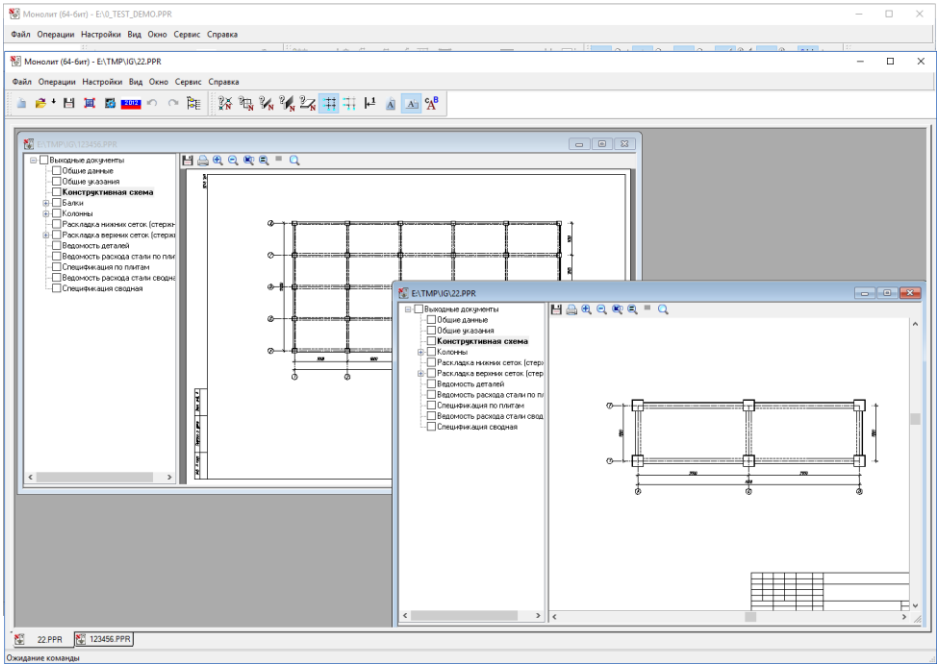


Рис. 11.4-1. Окна с результатами проектирования

Указание в дереве проектов на вид чертежей и формат бумаги приводит к появлению окна с результатами проектирования. Перечень полученной проектной документации представлен в виде дерева (рис. 11.4-1), работа с которым аналогична работе с деревом проектов, т.е. указание курсором на раздел проекта приводит к отображению в окне соответствующих проектных материалов.

Дерево имеет несколько уровней. На первом уровне перечислены отдельные документы, например, *Общие указания*, *Конструктивная схема*, *Опалубочный план* и др., а также группы выходных документов, каждая из которых включает ссылки на список документов одного вида, например, *Разрезы*, *Балки*, *Колонны*. На втором уровне, например, в группе *Балки* перечислены все балки перекрытия, а на третьем – чертежи пролетов каждой балки. Рядом с наименованием групп установлена кнопка для раскрытия содержимого группы (помечена крестиком), а также кнопка-маркер — ☐ (она стоит около каждого документа). Активация маркера — ☑ означает, что в режиме документирования отмеченный документ или группа должны быть выведены на печать или в файл формата DXF.

В режиме анализа результатов проектирования доступны две линейки инструментальной панели **Управление** и **Фильтры отображения**. Линейка **Управление** аналогична одноименной линейке инструментальной панели в режиме ввода исходных данных и описана выше. Набор операций (кнопок) линейки фильтров включает отображение номеров узлов, колонн, балок, стен и плит, две кнопки управления отображением координационных осей, кнопку задания разрезов, две кнопки выбора ориентации чертежей и кнопку задания шрифта при экспорте чертежей в форматы DXF файла программы AutoCAD (рис. 11.4-2).

Рис. 11.4-2. *Линейка* **Фильтры отображения**

11.4.1 Выходные документы

В результате работы программы формируется набор выходных документов на проектируемое перекрытие.

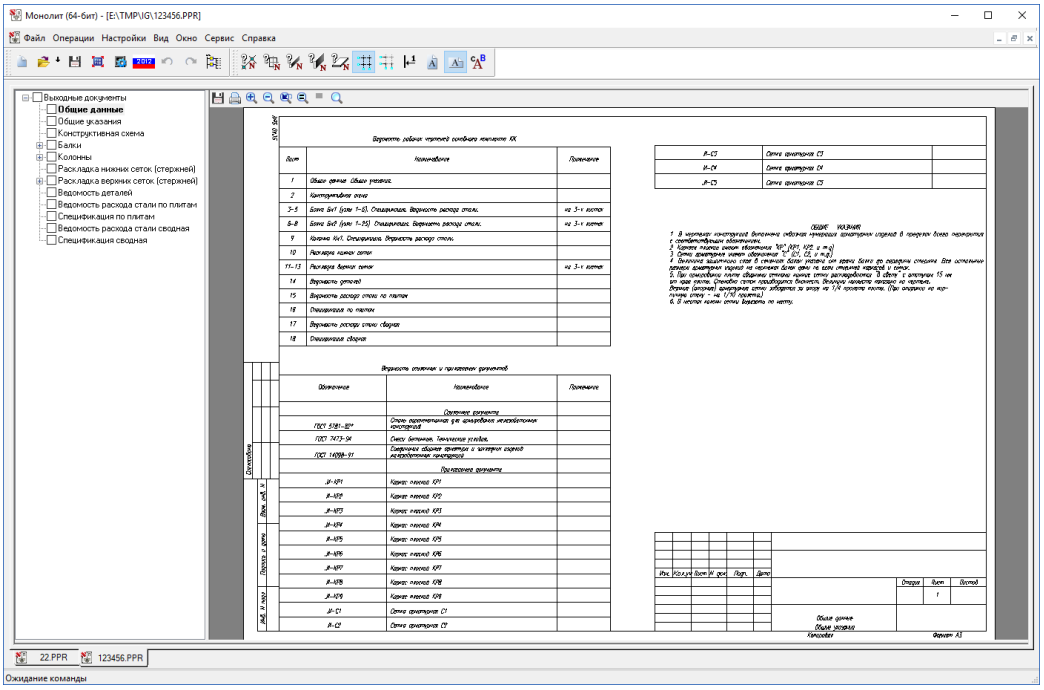


Рис. 11.4.1-1. Документ *Общие данные*

Общие данные — включает ведомость рабочих чертежей основного комплекта и ведомость ссылочных и прилагаемых документов. Если ведомость занимает более одного листа, то в дереве с результатами появится группа с перечнем листов. Ведомость чертежей включает основную надпись (форма 3) и

изображается в ориентации «Портрет» (формат А4) или «Альбом» (формат А3). При использовании формата А3 на этом же листе могут размещаться и Общие указания (рис. 11.4.1-1). В этом случае документы *Общие данные* и *Общие указания* могут совпадать. В формате А4 Общие указания выводятся на отдельном листе (рис. 11.4.1-2).

Конструктивная схема (рис. 11.4.1-3) — на чертеже изображена схема перекрытия. В зависимости от состояния фильтров отображения на схеме могут быть указаны номера узлов, имена колонн, стен, балок и плит.

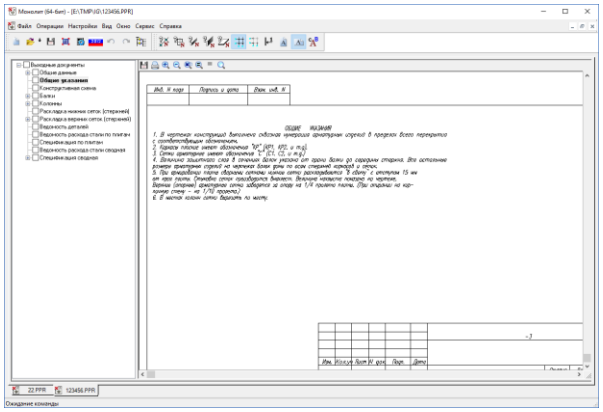


Рис. 11.4.1-2. Документ *Общие указания*

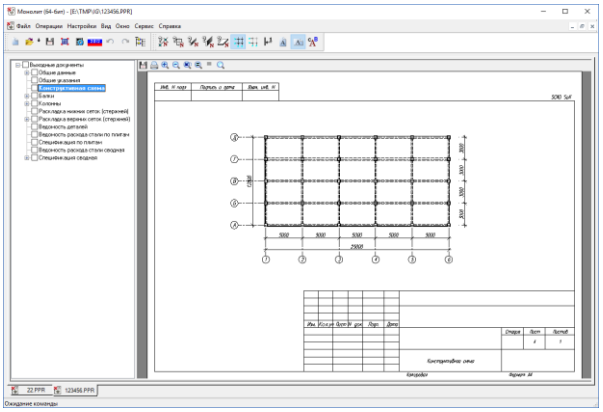


Рис. 11.4.1-3. Документ *Конструктивная схема*

Балки — каждый чертеж балки включает один или два пролета, в зависимости от формата бумаги и количества пролетов. В каждом пролете показаны три сечения (у опор и посередине) с размещенными каркасами, сетками, стержнями, их именами и привязками, а также необходимые размеры. На каждую балку выдается спецификация и ведомость расхода стали.

В формате А4 (рис. 11.4.1-4, *б*) на одном листе размещается всегда один пролет балки, и этот лист можно вывести в любой ориентации.

Лист, содержащий текстовую информацию (спецификация, ведомость расхода стали), выводится только в ориентации «Портрет». В формате А3 (рис. 11.4.1-4, *а*), если балка многопролетная, на одном листе могут быть размещены два пролета. В этом формате все листы выводятся только в ориентации «Альбом».

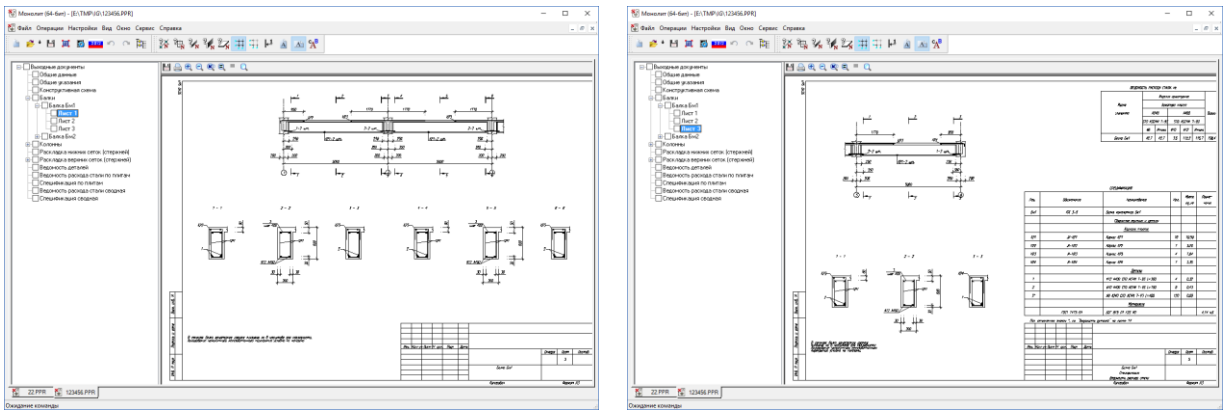


Рис. 11.4.1-4, *а*. Чертежи балки в форматах А3

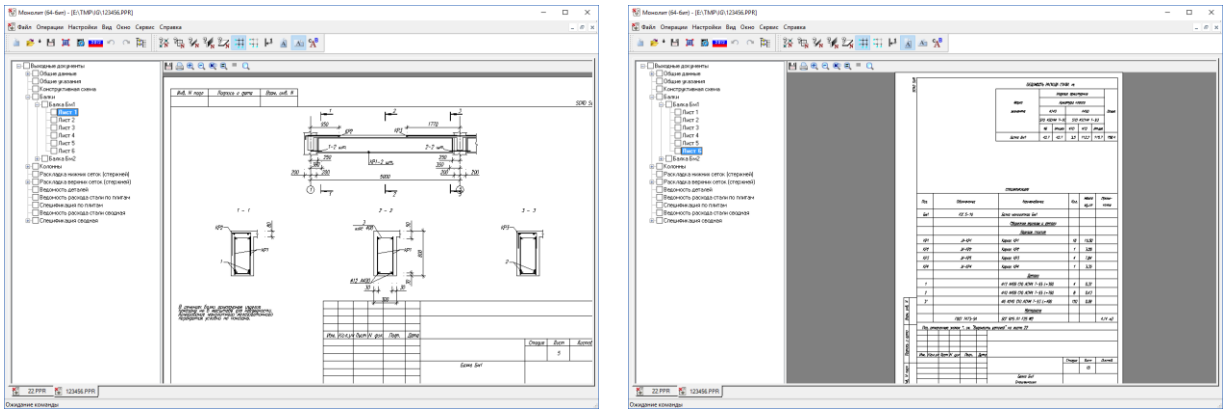


Рис. 11.4.1-4, *б*. Чертежи балки в форматах А4

Колонны — каждый чертеж колонны включает два или три сечения (в зависимости от количества заданных участков) с размещенными каркасами, стержнями, их именами и привязками, а также необходимые размеры. На каждую колонну выдается спецификация и ведомость расхода стали. В формате А4 (рис. 11.4.1-5, *а*) всегда выводятся по два листа на каждую колонну в ориентации «Портрет»: на одном листе чертеж, на другом — спецификация и ведомость расхода стали. В формате А3 (рис. 11.4.1-5, *б*) на каждую колонну выводится один лист в ориентации «Альбом».

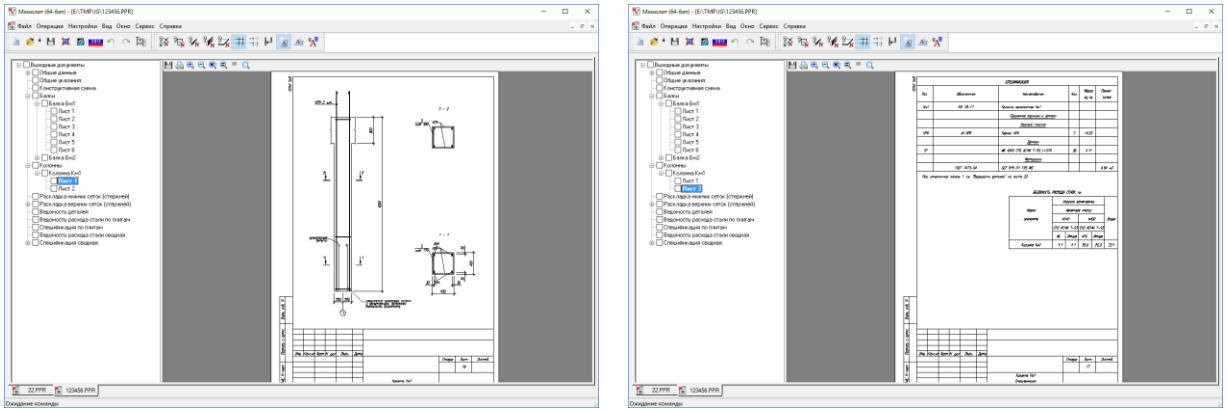


Рис. 11.4.1-5, *а*. Чертежи колонны в форматах А4

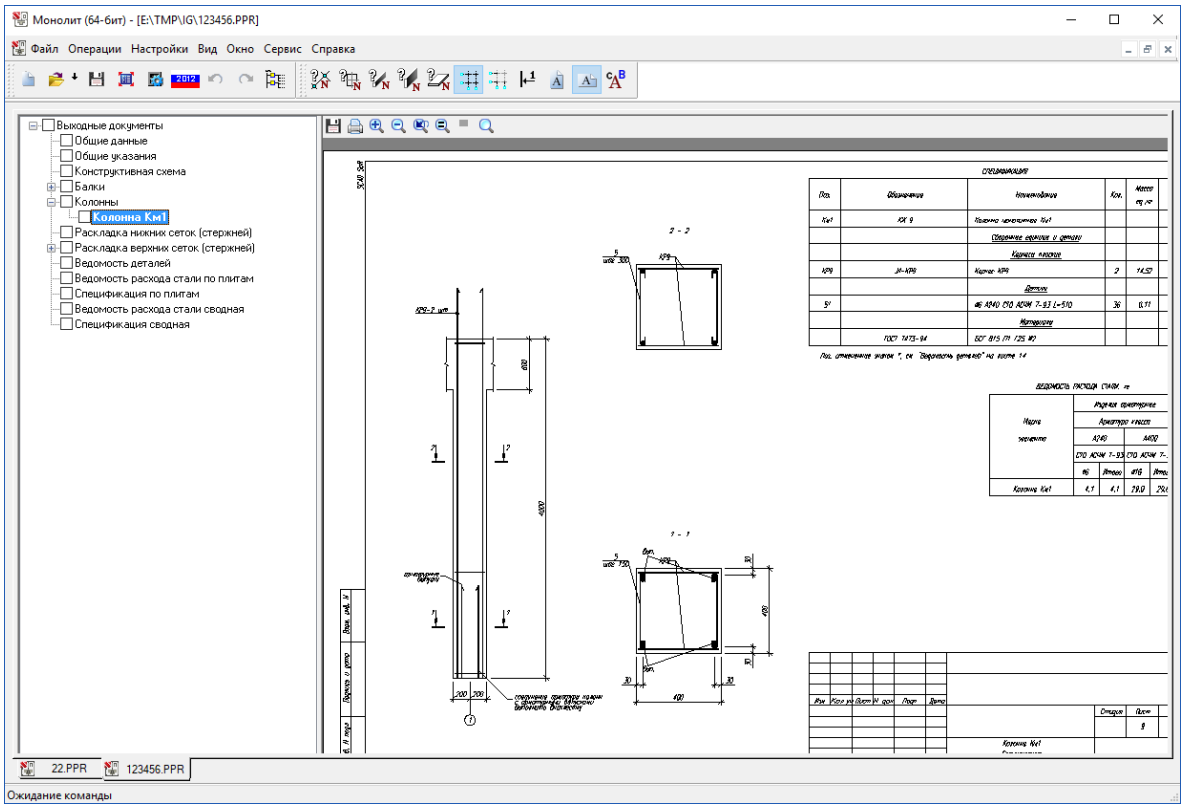


Рис. 11.4.1-5, *б*. Чертежи колонны в форматах А3

Раскладка нижних сеток (стержней) (рис. 11.4.1-6) — на чертеже изображена схема раскладки нижних сеток с указанием их имен и количества или раскладки отдельных стержней с указанием шага раскладки. Чертежи выводятся в любой ориентации.

а *б*

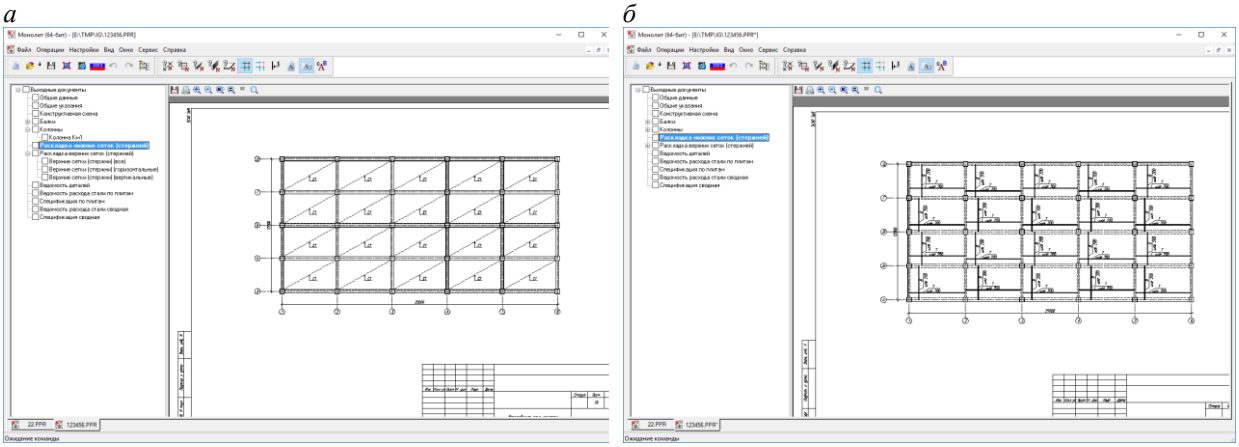
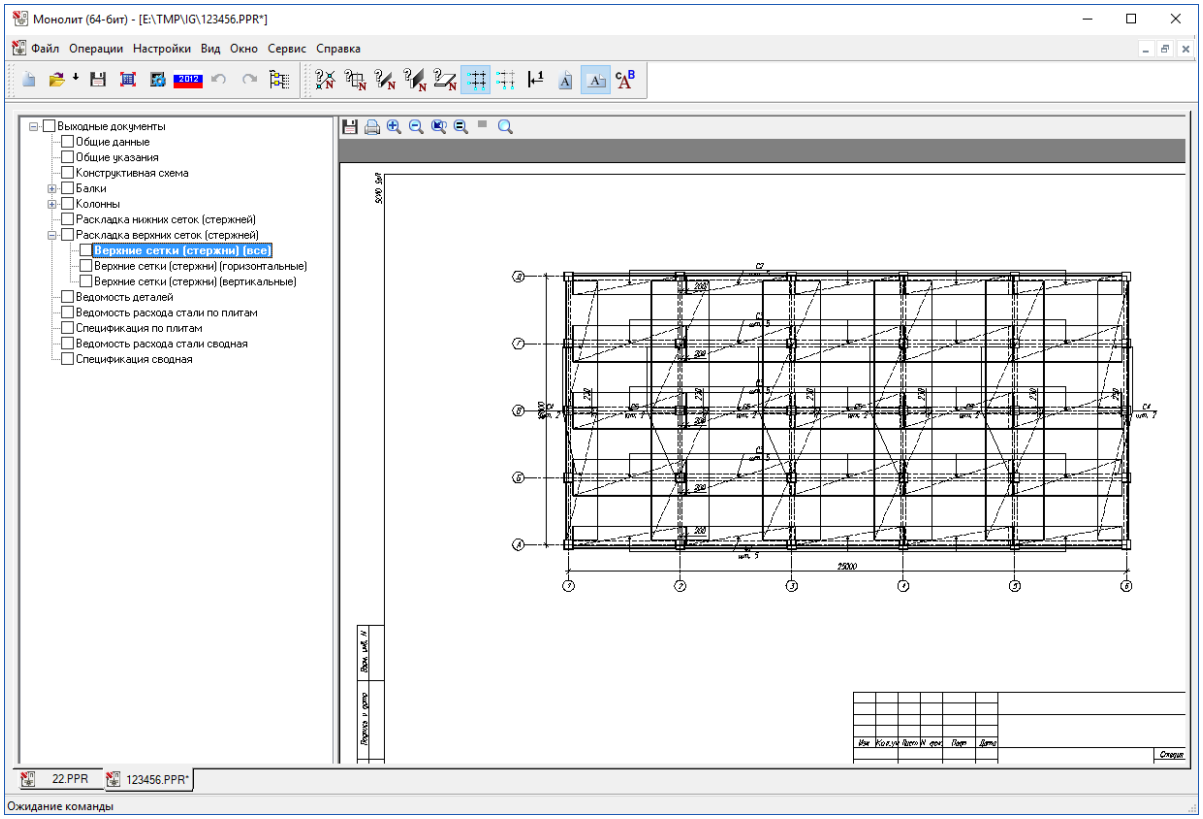


Рис. 11.4.1-6. Чертежи раскладки нижней арматуры сетками (*а*) и стержнями (*б*)

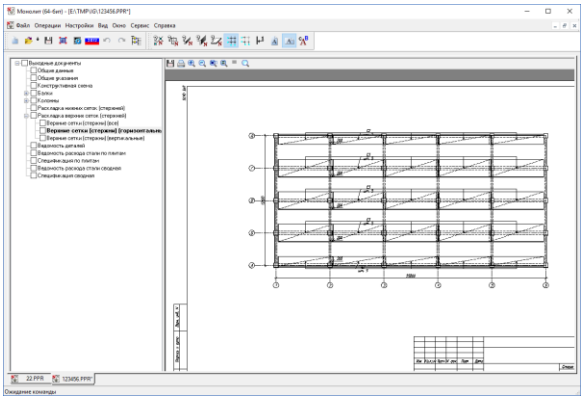
Раскладка верхних сеток (стержней) (рис. 11.4.1-7) — на чертеже изображена схема раскладки верхних опорных сеток с указанием их имен или раскладки отдельных стержней с указанием шага раскладки. Могут быть получены чертежи трех видов: Верхние сетки (стержни) все; Верхние сетки (стержни) горизонтальные, направленные вдоль оси X; Верхние сетки (стержни) вертикальные,

направленные вдоль оси Y. Чертежи второго и третьего вида рекомендуется выводить для тех проектов, в которых при выводе всех сеток (стержней) на одном листе их идентификация затруднена из-за высокой плотности изображения.

а



б



в

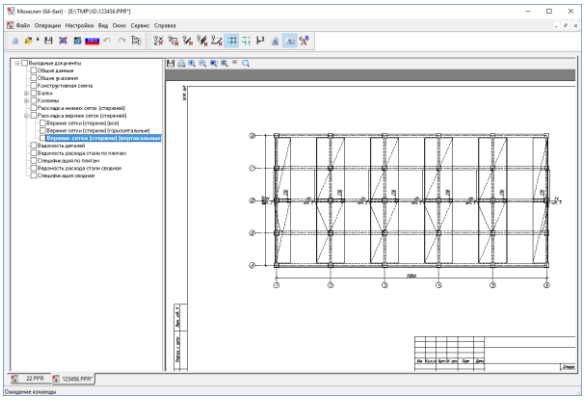


Рис. 11.4.1-7. Чертежи раскладки верхней арматуры сетками:
а) все; *б*) только горизонтальные сетки (вдоль оси X); *в*) только вертикальные сетки (вдоль оси Y);

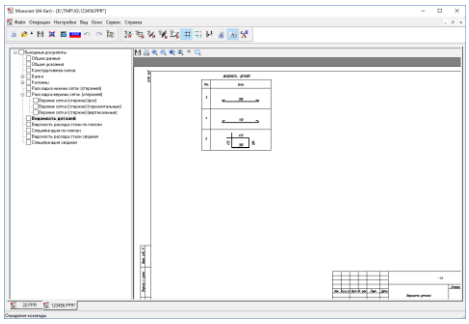


Рис. 11.4.1-8. Ведомость деталей

Ведомость деталей (рис. 11.4.1-8) — если при конструировании перекрытия были использованы гнутые арматурные стержни, то они будут помещены в соответствующую ведомость. Ориентация документа — «Портрет» (формат А4) или «Альбом» (формат А3).

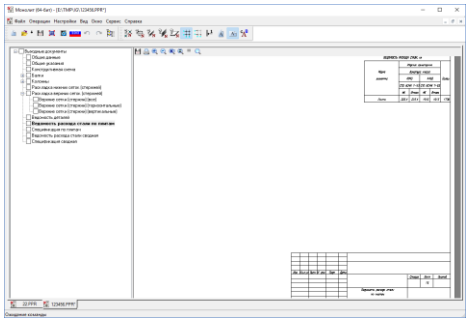


Рис. 11.4.1-9. Ведомость расхода стали по плитам

Ведомость расхода стали по плитам (рис. 11.4.1-9) — документ содержит ведомость расхода стали по всем плитам (участкам) перекрытия. Ориентация документа — «Альбом» (формат А3), в формате А4 ориентация любая.

Спецификация по плитам (рис. 11.4.1-10) — документ включает перечень и параметры сеток или деталей, использованных во всех плитах перекрытия, а также суммарный объем бетона, необходимый для конструирования плит. Ориентация документа — «Портрет» (формат А4) и «Альбом» (формат А3).

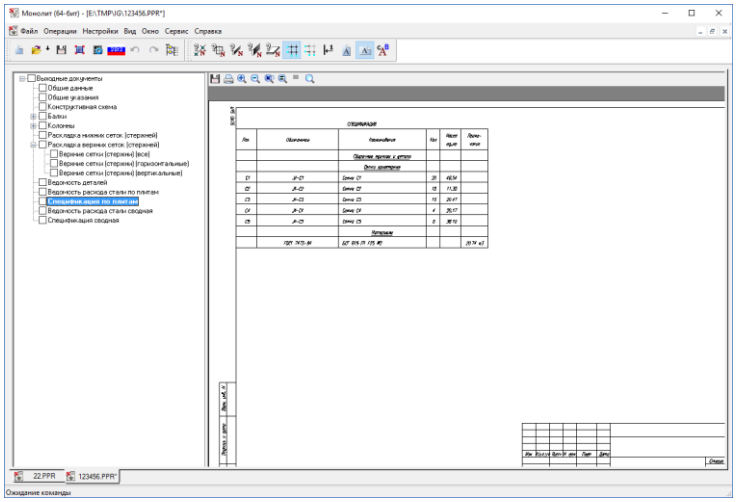


Рис. 11.4.1-10. Спецификация по плитам

Ведомость расхода стали сводная (рис. 11.4.1-11) — документ содержит ведомость расхода стали на все перекрытие. Ориентация документа — «Альбом».

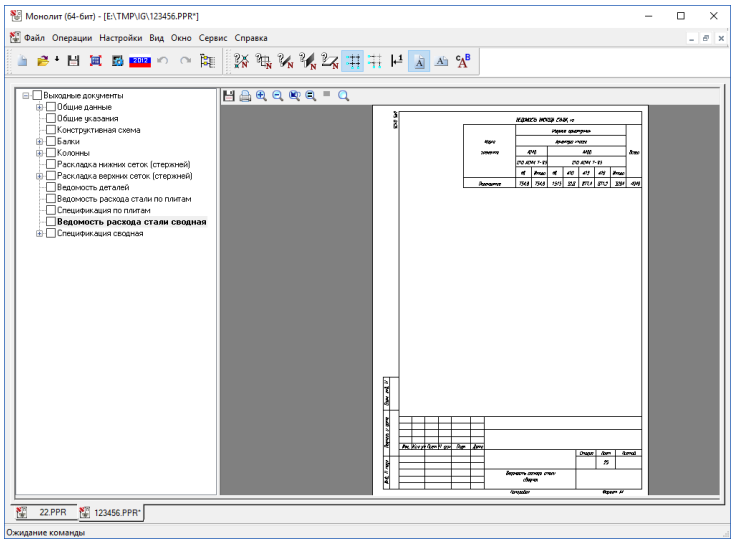


Рис. 11.4.1-11. Ведомость расхода стали сводная

Спецификация сводная (рис. 11.4.1-12) — документ содержит перечень и параметры каркасов, сеток и деталей, использованных во всех балках и плитах перекрытия, а также суммарный объем бетона, необходимый для конструирования перекрытия. Если спецификация занимает больше одного листа, то группа будет содержать ссылки на эти листы. Ориентация документа — «Портрет» для формата А4 и «Альбом» — для А3.

а *б*

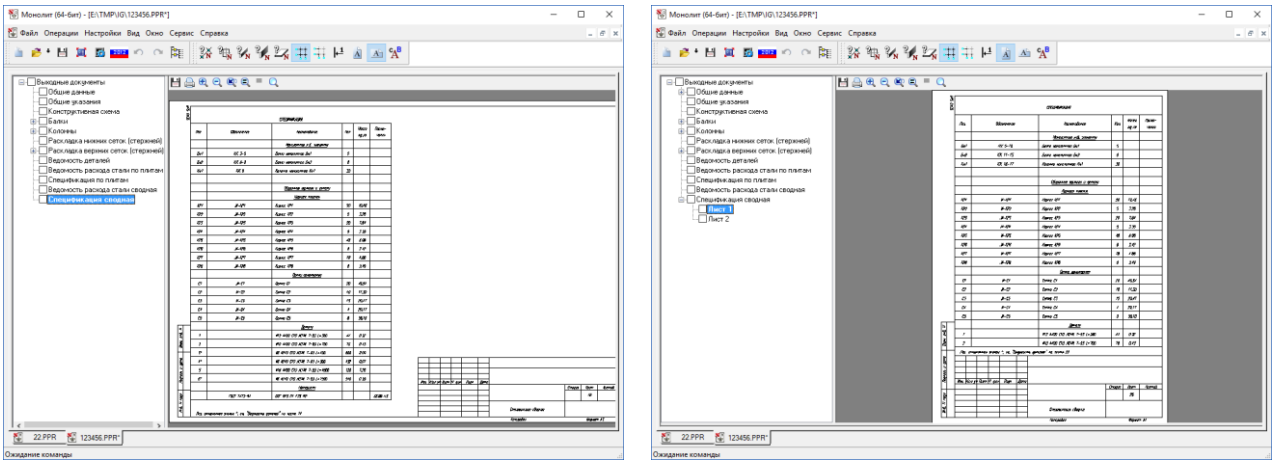


Рис. 11.4.1-12. Спецификация сводная:
а) формат А3; *б*) формат А4

Разделы *Опалубочный план* и *Разрезы* в дереве результатов (рис. 11.4.1-13) появляются после назначения разрезов (кнопка **Задание разрезов** в инструментальной панели **Фильтры отображения** режима формирования проектной документации). Разрезы назначаются в диалоговом окне **Задание разрезов** (рис. 11.4.1-14) по следующим правилам:

- разрезы по горизонтали (вдоль направления оси X) и по вертикали (вдоль направления оси Y) задаются в одноименных таблицах;
- перед вводом характеристик очередного разреза необходимо добавить новую строку в соответствующую таблицу (нажать кнопку **Добавить**);

- наличие уникального номера у каждого разреза обязательно (графа **Разрез**);
- в текущей версии программы отверстия в плитах, попавшие на линию разреза, на разрезе не показываются.

а *б*

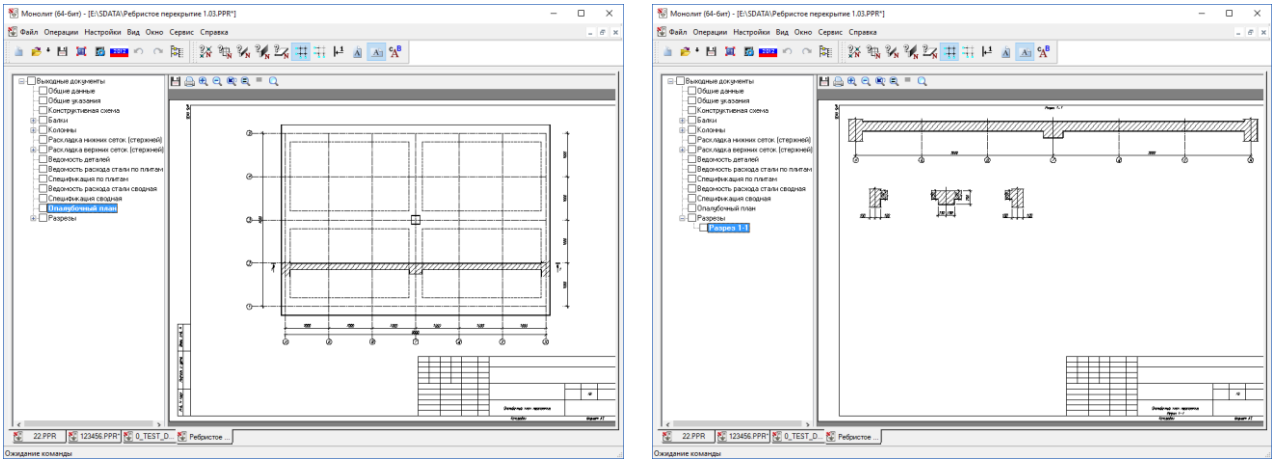


Рис. 11.4.1-13. Опалубочный план (*а*) и разрезы (*б*)

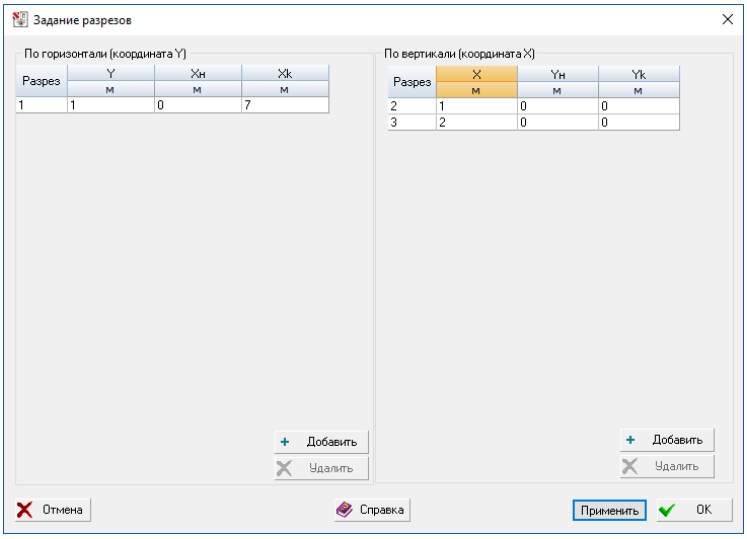


Рис. 11.4.1-14. Диалоговое окно **Задание разрезов**

Каркасы и сетки — набор чертежей КЖИ включает каркасы и сетки (рис. 11.4.1-15) и доступен в дереве проектов в тех случаях, когда армирование балок и плит выполняется с использованием соответствующих изделий.

а *б*

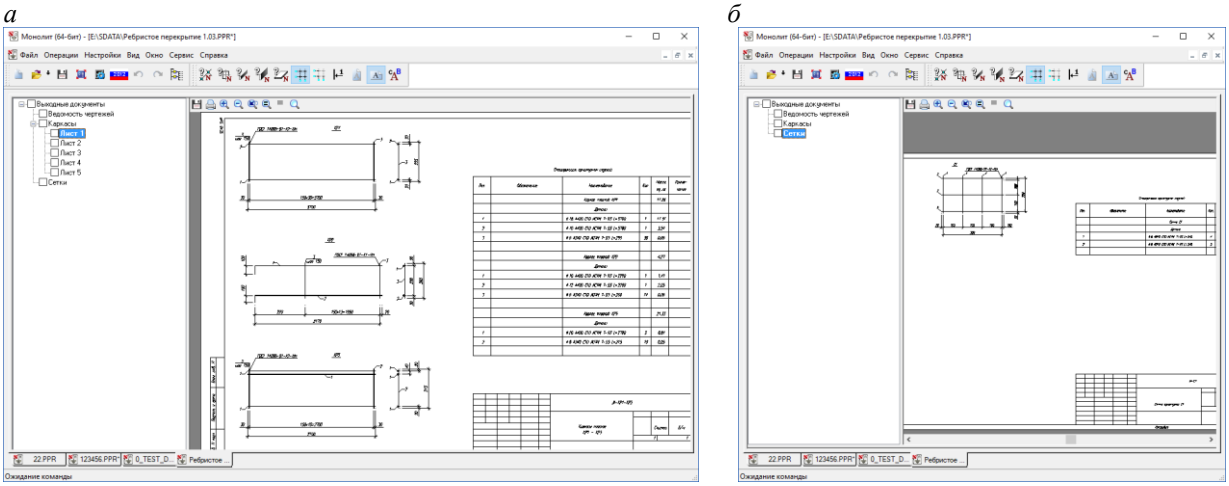


Рис. 11.4.1-15. Чертежи каркасов (*а*) и сеток (*б*)

11.5 Информационные режимы

Информационные режимы **Класс бетона**, **Марка бетона** и **Арматура** доступны из раздела **Информация** дерева проектов.

11.6 Литература

[1] Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). – М. – 214 с.

[2] Проектирование железобетонных конструкций: Справ. пособие / Голышев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П., Харченко А.В., Руденко И.В.; Под ред. А.Б.Голышева. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будивэльнык, 1990. – 544 с.

[3] Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения) / ГПИ Ленингр., Промстройпроект Госстроя СССР, ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1978. – 175 с.

12. Программа Декор

Программа **Декор** предназначена для выполнения расчетов и проверок элементов и соединений деревянных конструкций на соответствие требованиям СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции», КМК 2.03.08.98 (или СП 64.13330). Кроме того, в программе предусмотрена возможность получения справочных данных, часто используемых при проектировании деревянных конструкций.

Реализованные в программе принципы управления, подготовки данных и документирования результатов расчета полностью совпадают с аналогичными режимами проектно-аналитических программ, входящих в состав системы **SCAD Office®**. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами. Активизация страницы происходит при нажатии на ее закладку, также есть возможность использовать меню.

12.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно с картой входов в режимы программы (рис. 12.1-1), с кнопками выбора норм проектирования, настройки программы.

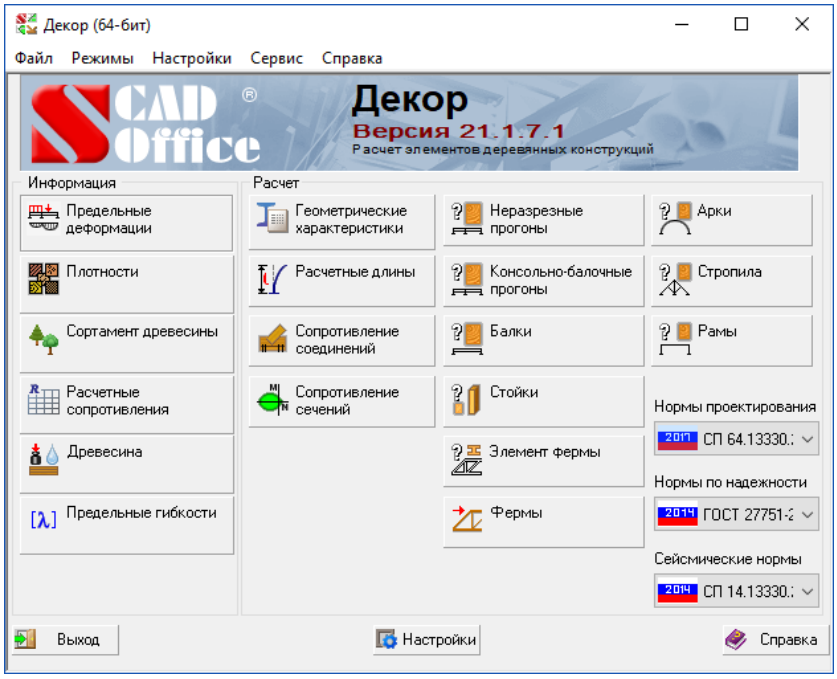


Рис. 12.1-1. *Главное окно*

Нормы проектирования выбираются из одноименного списка. Информация об установленных нормах выводится в нижнем левом углу окна активного режима. В данной версии программы реализован расчет по СНиП II-25-80 и СП 64.13330.2011, СП 64.13330.2017 (актуализированная редакция СНиП II-25-80), КМК 2.03.08.98.

Режимы вызываются нажатием специальной кнопки и могут быть отнесены к справочным (группа **Информация**) или расчетным (группа **Расчет**).

Справочные режимы представлены следующим набором:

Предельные прогибы и деформации — просмотр предельных значений прогибов элементов деревянных конструкций и предельных значений деформаций соединений, приведенных в таблицах 15, 16 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (таблицах 18, 19 СП 64.13330.2011, таблице 17 СП 64.13330.2017);

Плотности — представлена информация о плотности древесины, приведенная в приложении 3 СНиП II-25-80 (приложении Д СП 64.13330.2011, приложении Г СП 64.13330.2017);

Сортамент древесины — представлена информация о размерах пиломатериалов хвойных пород согласно ГОСТ 24454-80;

Расчетные сопротивления — для выбранного пользователем вида напряженно-деформированного состояния вычисляется расчетное сопротивление;

Древесина — приводятся данные о максимально допустимой влажности древесины, а также типах и марках клеев;

Предельные гибкости — приводится информация о предельных гибкостях элементов конструкций.

В разделе **Расчет** выполняются следующие операции:

Геометрические характеристики — вычисления геометрических характеристик поперечного сечения;

Расчетные длины — реализованы рекомендации п. 4.21 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (п.6.23 СП 64.13330.2011, п.7.23 СП 64.13330.2017) по определению расчетных длин;

Сопротивление соединений — для соединений на врубках и соединений на цилиндрических нагелях определяются коэффициенты использования ограничений;

Сопротивление сечений — определяются коэффициенты использования ограничений для любого из предусмотренных программой типов поперечных сечений при действии произвольных усилий, кроме того, строятся кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий;

Неразрезные прогоны — проверка конструкции неразрезных прогонов по предельным состояниям первой и второй групп;

Консольно-балочные прогоны — проверка конструкции консольно-балочных прогонов под действием равномерно распределенных нагрузок по предельным состояниям первой и второй групп;

Балки — проверка конструкции однопролетных балок с различными условиями опирания по предельным состояниям первой и второй групп;

Стойки — в этом режиме выполняется проверка конструкции стоек и колонн;

Элемент фермы — в этом режиме выполняется проверка конструкции отдельного элемента фермы;

Фермы — в этом режиме для конструктивных схем, наиболее часто используемых на практике, реализуются все необходимые проверки элементов ферм на прочность и устойчивость. При этом работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых вертикальных внешних нагрузок.

Арки – в этом режиме выполняется проверка прочности и устойчивости арок из клееной древесины прямоугольного сечения.

Стропила — в этом режиме выполняется проверка конструкций стропил.

Рамы — в этом режиме выполняется проверка рамных конструкций.

При обращении к любому из указанных режимов появляется многостраничное диалоговое окно, в котором выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

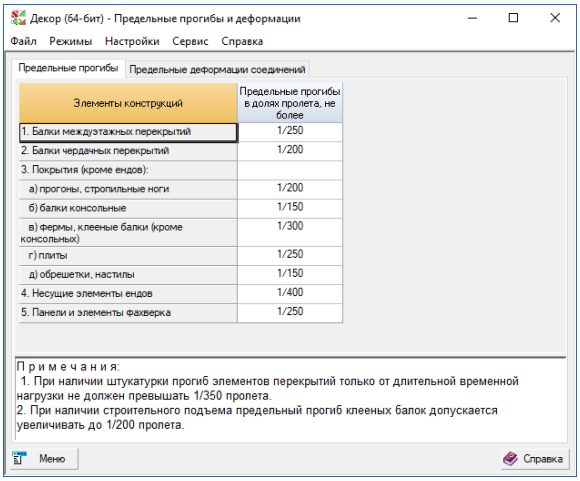
12.2 Информационные режимы

Информационные режимы включают данные, приведенные в СНиП. Все значения в таблицах приведены в тех же единицах измерения, что и в СНиП, и не зависят от единиц настройки программы.

12.2.1 Предельные прогибы и деформации

В этом режиме (рис. 12.2.1-1) приводятся данные о предельных значениях прогибов элементов деревянных конструкций и предельных значениях деформаций соединений, приведенных в таблицах 15, 16

СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (таблицах 18, 19 СП 64.13330.2011, таблицах 17 СП 64.13330.2017). Отметим, что для СП 64.13330.2017 приводятся только данные о предельных значениях деформаций соединений.



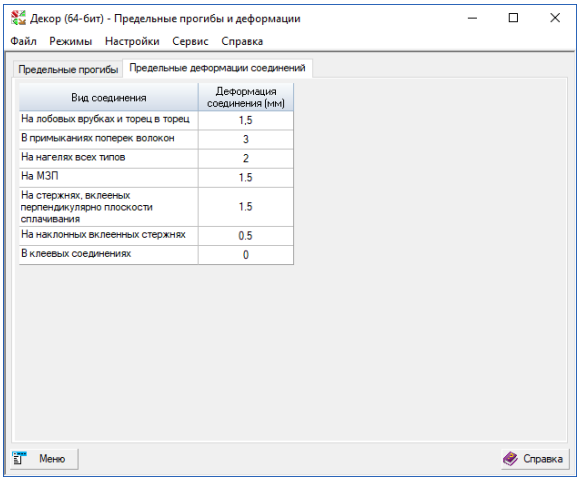


Рис. 12.2.1-1. *Диалоговые окна режима* **Предельные прогибы и деформации**

12.2.2 Плотности

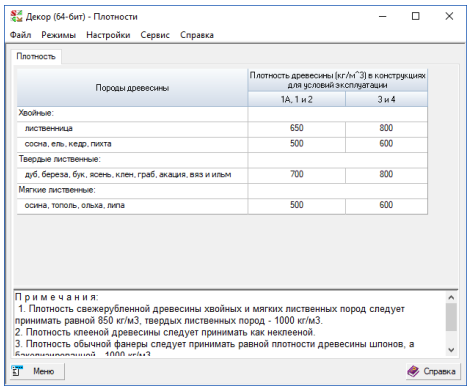


Рис. 12.2.2-1. *Диалоговое окно* **Плотности**

Информация в этом режиме (рис. 12.2.2-1) включает данные о плотности древесины, приведенные в приложении 3 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (приложении Д СП 64.13330.2011, приложении Г СП 64.13330.2017).

12.2.3 Сортамент древесины

В данном режиме представлена информация о размерах обрезных и необрезных пиломатериалов хвойных пород согласно ГОСТ 24454-80 (рис. 12.2.3-1). Кроме того, на странице **Пиломатериалы для КДК** (рис. 12.2.3-2) имеется возможность задать размеры пиломатериалов до острожки и получить размеры после острожки согласно ГОСТ 7307-75* (ГОСТ 7307-2016).

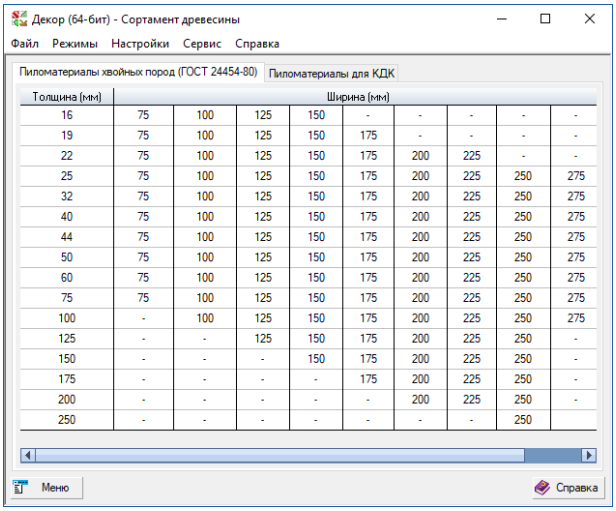


Рис. 12.2.3-1. *Страница* **Пиломатериалы хвойных пород** *диалогового окна* **Сортамент древесины**

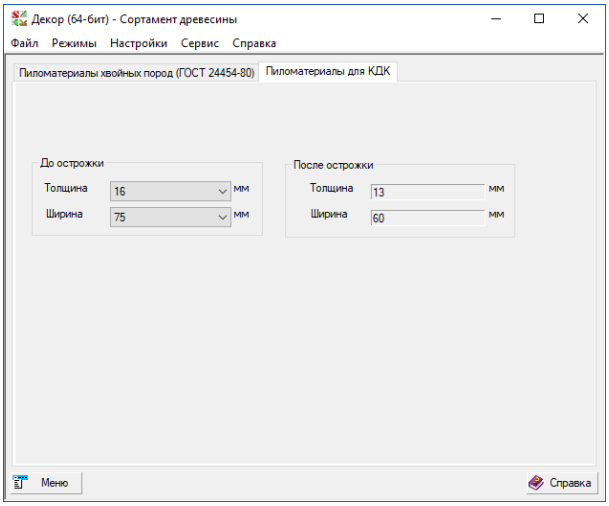


Рис. 12.2.3-2. *Страница* **Пиломатериалы для КДК** *диалогового окна* **Сортамент древесины**

12.2.4 Расчетные сопротивления

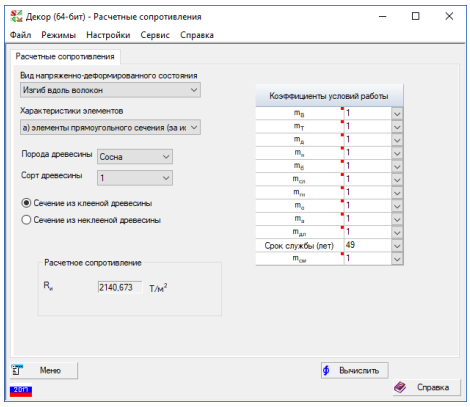


Рис. 12.2.4-1. *Диалоговое окно* **Расчетные сопротивления**

Для определения расчетного сопротивления элемента согласно пп. 3.1, 3.2 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (или пп. 5.1,5.2 СП 64.13330.2011, пп. 6.1-6.9 СП 64.13330.2017) следует в одноименном диалоговом окне (рис. 12.2.4-1) выбрать из соответствующих списков следующие данные:

- вид напряженно-деформированного состояния;
- характеристики элемента;
- порода древесины;
- сорт древесины.

С помощью маркеров указать вид сечения (клееное или цельное), а также назначить коэффициенты условий работы (m_a, $m_т$, $m_д$, ...) путем выбора их значений из списков или вводом в окнах списков значений, отличных от рекомендованных нормами (в списках приведены все значения, перечисленные в соответствующих таблицах СНиП или СП).

Значение расчетного сопротивления будет выдано в одноименном поле после нажатия кнопки **Вычислить**.

12.2.5 Древесина

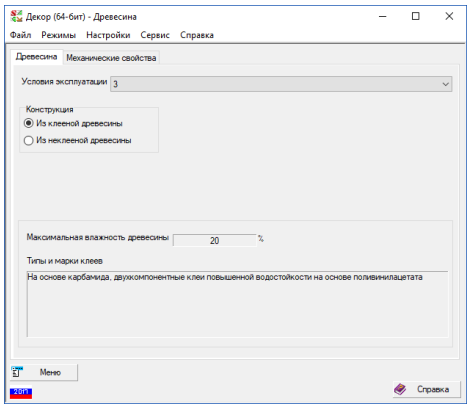


Рис. 12.2.5-1. *Диалоговое окно* **Древесина**

В этом режиме (рис. 12.2.5-1) приводятся данные о максимально допустимой влажности древесины согласно таблице 1 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 или СП 64.13330. Влажность определяется в зависимости от заданных условий эксплуатации конструкции. Для клееной древесины приведены также типы и марки требуемых клеев (согласно таблице 2 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 или СП 64.13330).

На отдельной странице (рис. 12.2.5-2) имеется возможность определить механические свойства древесины (модули упругости, модули сдвига и коэффициенты Пуассона) согласно п. 3.5 СНиП II-25-80 (пп. 5.3-5.5 СП 64.13330.2011).

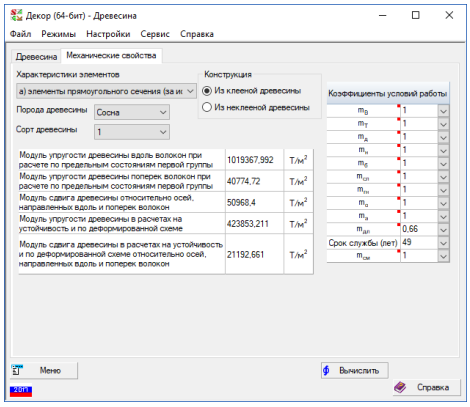


Рис. 12.2.5-2. *Диалоговое окно* **Механические свойства**

12.2.6 Предельные гибкости

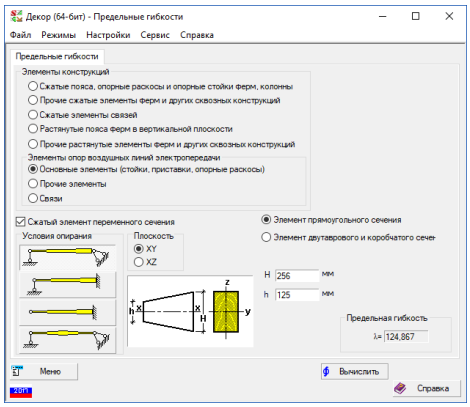


Рис. 12.2.6-1. *Диалоговое окно* **Предельные гибкости**

Предельная гибкость определяется для различного вида элементов конструкций на основе данных таблицы 14 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (таблицы 17 СП 64.13330.2011, таблицы 16 СП 64.13330.2017). Диалоговое окно (рис. 12.2.6-1) включает две группы маркеров, определяющих вид элементов (в отдельную группу выделены элементы опор воздушных линий электропередач); группу маркеров выбора плоскости сечения; маркеры для задания формы сечения (прямоугольное, двутавровое или коробчатое).

Если активен маркер *Сжатый элемент переменного сечения,* то необходимо с помощью кнопок назначить условия опирания. Значение предельной гибкости появляется в одноименном поле после нажатия кнопки **Вычислить** (соответствует таблице 14 СНиП и таблице 1 приложения 4 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 таблице 17 СП 64.13330.2011 и таблице Е.1 приложения Е СП 64.13330.2011 или таблице 16 СП 64.13330.2017 и таблице Е.1 приложения Е СП 64.13330.2017).

12.3 Расчет

12.3.1 Общие операции

Большинство расчетных режимов включает ряд общих элементов управления. К ним относятся группы элементов управления, используемых при задании поперечных сечений, характеристик древесины, коэффициентов условий работы и т.п. Ниже приведено описание таких групп.

Конструирование поперечных сечений

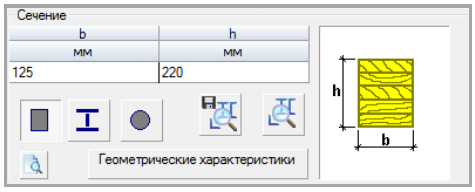


Рис. 12.3.1-1. Типы поперечных сечений

В программе **Декор** предусмотрен анализ элементов деревянных конструкций с сечениями одного из трех типов — прямоугольного, двутаврового и круглого. Выбор нужной формы сечения и задание его размеров выполняется в группе **Сечение** (рис. 12.3.1-1).

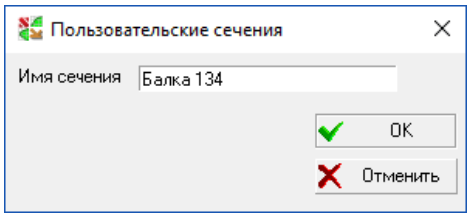


Рис. 12.3.1-2. *Диалоговое окно* **Пользовательские сечения**

С помощью кнопки осуществляется доступ к пользовательской базе поперечных сечений. Эта база создается в процессе работы с программой. Для записи в базу созданного сечения используется кнопка , нажатием которой вызывается диалоговое окно **Пользовательские сечения**. В этом окне задается имя сохраняемого сечения (рис. 12.3.1-2).

Поскольку программа не контролирует уникальность применяемых имен, то за этим должен следить пользователь.

Геометрию заданного сечения можно проверить, воспользовавшись кнопкой **Предварительный просмотр** , нажатием которой вызывается одноименное диалоговое окно с эскизом сечения (рис. 12.3.1-3).

При обращении к базе сечений появляется диалоговое окно (рис. 12.3.1-4), включающее список всех сохраняемых в базе сечений. Сечения можно удалить из базы или переименовать (кнопки **Удалить** и **Переименовать**), просмотреть (**Предварительный просмотр**) или загрузить в программу для последующего использования. В последнем случае следует отметить строку с наименованием интересующего сечения и нажать кнопку **Применить**.

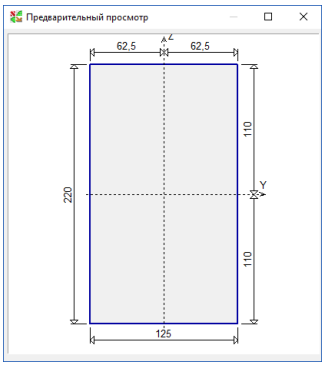


Рис. 12.3.1-3. *Диалоговое окно* **Предварительный просмотр**

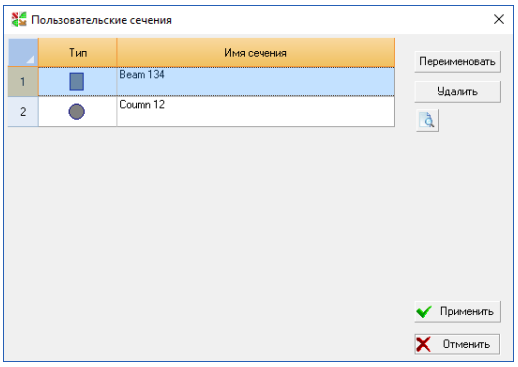


Рис. 12.3.1-4. Диалоговое окно с перечнем имеющихся в базе пользовательских сечен ий

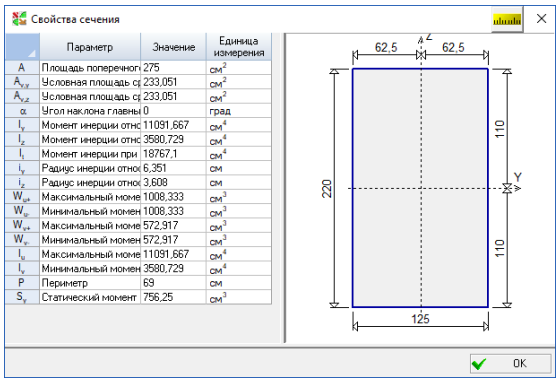


Рис. 12.3.1-5. *Диалоговое окно* **Свойства сечения**

Расположенная в группе **Сечение** кнопка **Геометрические характеристики** активизирует окно **Свойства сечения** (рис. 12.3.1-5), в котором находятся геометрические характеристики сечения (площадь, моменты инерции, ...) и эскиз сечения с его размерами и обозначением осей.

Характеристики древесины

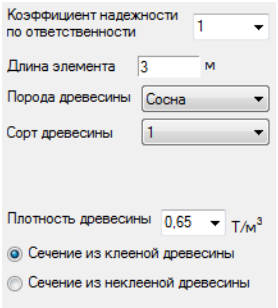


Рис. 12.3.1-6. Группа элементов управления, используемая для задания характеристик древесины

Характеристики древесины требуются во всех расчетных режимах. Для задания этой информации, как правило, используется стандартная группа элементов управления (рис. 12.3.1-6). Такие характеристики, как порода древесины (сосна, пихта, дуб, ...), сорт древесины и удельный вес выбираются из списков. Последний из указанных параметров необходим лишь в тех режимах (например, балки или прогоны), в которых предусмотрена возможность задания нагрузки от собственного веса. Кроме того, с помощью маркеров указывается, является ли сечение клееным.

Чаще всего в этой группе расположен список для выбора или ввода коэффициента надежности по ответственности по ГОСТ 27751-88.

Коэффициенты условий работы

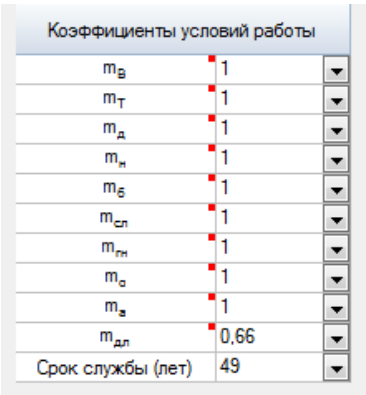


Рис. 12.3.1-7. Коэффициенты условий работы

Для расчета элемента конструкции или соединения требуется информация о коэффициентах условий работы (m_a, $m_т$, $m_д$, ...). Задание коэффициентов условий работы выполняется путем их выбора из списков (в списках приведены все значения, перечисленные в пунктах и соответствующих таблицах СНиП или СП) или вводом нужного значения в поле списка (рис. 12.3.1-7).

В конкретных режимах (а иногда и в зависимости от состояния других элементов управления) некоторые коэффициенты могут “исчезать”. Например, для цельных сечений не требуется коэффициент $m_{сл}$.

Некоторые коэффициенты программа определяет автоматически. Например, на основании данных о сроке службы (см. рис. 12.3.1-7) вычисляется коэффициент надежности по сроку службы.

12.3.2 Геометрические характеристики

В этом режиме вычисляются геометрические характеристики поперечных сечений по описанным выше правилам (см. раздел 12.3.1 Конструирование поперечных сечений). Исходные данные вводятся на странице **Параметры сечения** (рис. 12.3.2-1). Результаты выдаются на странице **Геометрические характеристики** в форме, представленной на рис. 12.3.2-2.

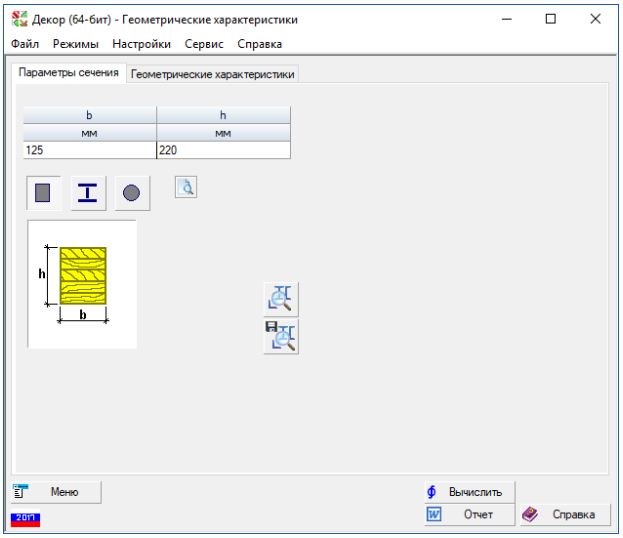


Рис. 12.3.2-1. *Страница* **Параметры сечения** *режима* **Геометрические характеристики**

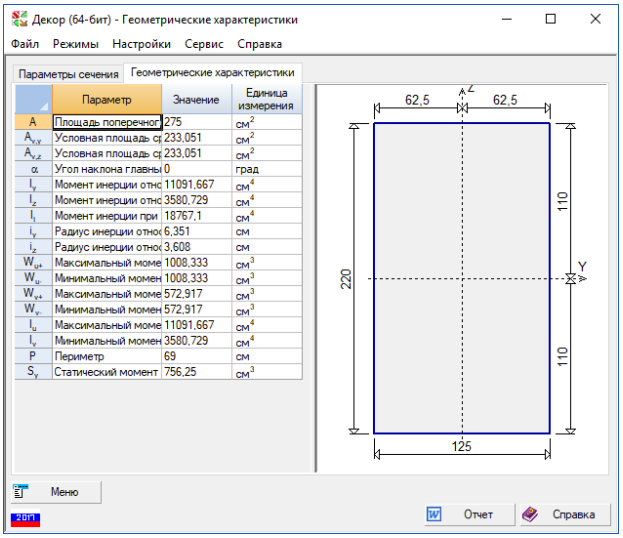


Рис. 12.3.2-2. *Страница* **Геометрические характеристики** *режима* **Геометрические характеристики**

12.3.3 Расчетные длины

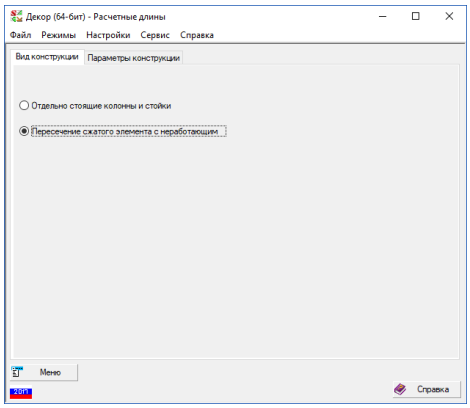


Рис. 12.3.3-1. *Страница* **Вид конструкции** *диалогового окна* **Расчетные длины**.

В этом режиме реализованы рекомендации п. 4.21 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 (п. 6.23 СП 64.13330.2011, п. 7.23 СП 64.13330.2017) по определению расчетных длин. После активации режима появляется страница **Вид конструкции** (рис. 12.3.3-1), где с помощью маркеров выбирается, для какого вида конструкции должна быть вычислена расчетная длина (реализованы два вида конструкций — *отдельно стоящие колонны и стойки* и *пересечение сжатого элемента с неработающим*). В зависимости от сделанного выбора меняется вид второй страницы режима (рис. 12.3.3-2, 12.3.3-3).

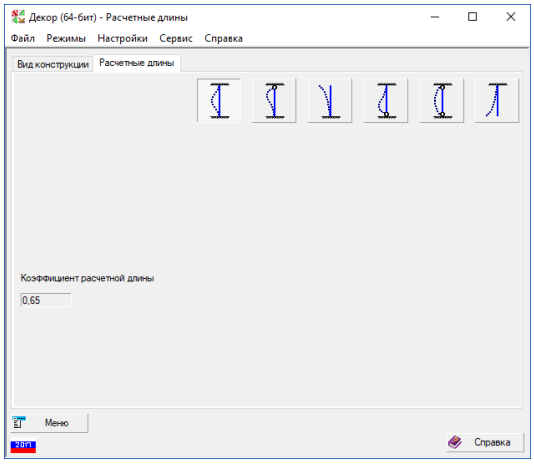


Рис. 12.3.3-2. *Страница* **Расчетные длины** *диалогового окна* **Расчетные длины**

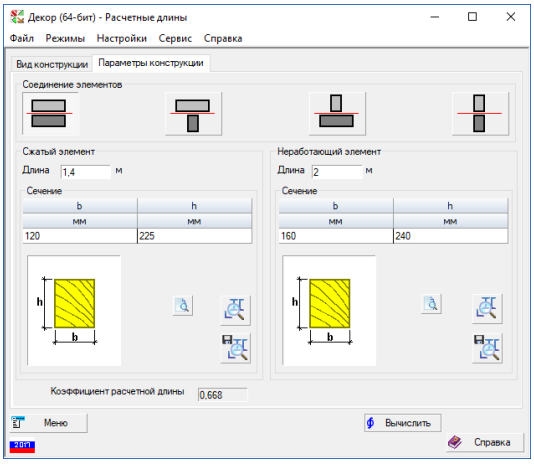


Рис. 12.3.3-3. *Страница* **Параметры конструкции** *диалогового окна* **Расчетные длины**

Для *отдельно стоящих колонн и стоек* на странице **Расчетные длины** установлена группа кнопок, каждая из которых соответствует определенному виду закрепления. Результат расчета, оговоренный в п. 4.21 СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98, п. 6.23 СП 64.13330.2011, п. 7.23 СП 64.13330.2017 (отношение расчетной длины к геометрической длине элемента) выводится в поле **Коэффициент расчетной длины** после нажатия соответствующей кнопки.

Для случая *пересечение сжатого элемента с неработающим* на странице **Параметры конструкции** задаются размеры поперечных сечений элементов, их длины и указывается способ их соединения. Вычисление коэффициента расчетной длины выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**.

12.3.4 Сопротивление соединений

В этом режиме определяются коэффициенты использования ограничений для соединений на врубках и цилиндрических нагелях. Режим включает две страницы. На странице **Общие данные** (рис. 12.3.4-1) выбирается тип соединения — соединение на врубках или нагельное соединение. Здесь же содержатся

стандартные группы элементов управления для ввода информации о древесине и коэффициентах условий работы. В случае соединения на врубках требуется также информация о сечении.

а *б*

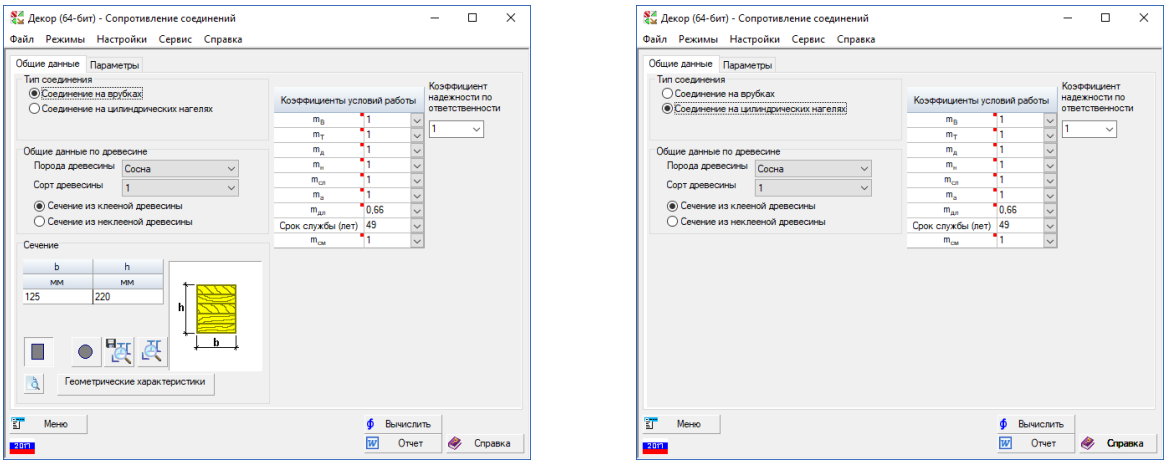


Рис. 12.3.4-1. *Диалоговое окно* **Сопротивление соединений**, *страница* **Общие данные**

В зависимости от вида рассчитываемого соединения на странице **Параметры** задаются следующие данные:

а) для соединения на врубках (рис. 12.3.4-2, *а*):

- параметры врубки;
- тип соединения (симметричное или несимметричное);
- усилия;

б) для соединений на цилиндрических нагелях (рис. 12.3.4-2, *б*):

- вид нагеля (гвоздь, стальной, алюминиевый, стеклопластиковый, дубовый);
- расстановка нагелей (прямая, в шахматном порядке, косая);
- число расчетных швов одного нагеля;
- диаметр нагеля;
- количество нагелей и их геометрическое расположение;
- усилия.

а *б*

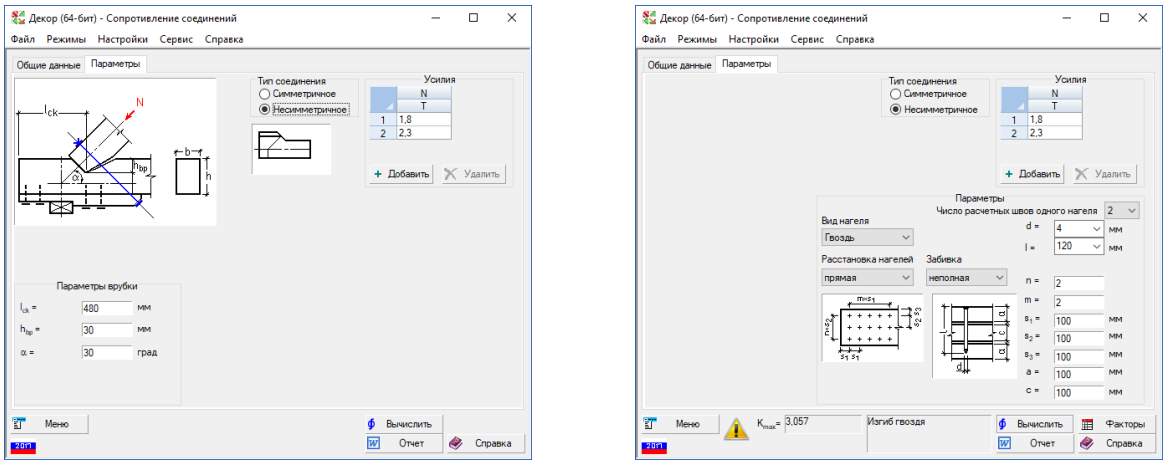


Рис. 12.3.4-2. *Страница* **Параметры** *диалогового окна* **Сопротивление соединений**

При задании усилий предусмотрена возможность задать несколько значений продольной силы (соответствующих нескольким взаимоисключающим загружениям).

Соединения на врубках проверяются на:

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330.2011	Ссылка на СП 64.13330.2017
Прочность по условиям смятия	п. 5.2	п. 7.2	п. 8.2
Прочность по условиям скалывания	п. 5.2	п. 7.2	п. 8.2

Соединения на цилиндрических нагелях проверяются по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330.2011	Ссылка на СП 64.13330.2017
Несущая способность по смятию крайнего элемента	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Несущая способность по смятию среднего элемента	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Изгиб стального нагеля	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Изгиб гвоздя	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Изгиб нагеля из стеклопластика	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Изгиб алюминиевого нагеля	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Несущая способность по смятию более толстого элемента	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Несущая способность по смятию более тонкого элемента	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16
Изгиб дубового нагеля	пп. 5.13-5.15	пп. 7.13-7.15	пп. 8.13-8.16

12.3.5 Сопротивление сечений

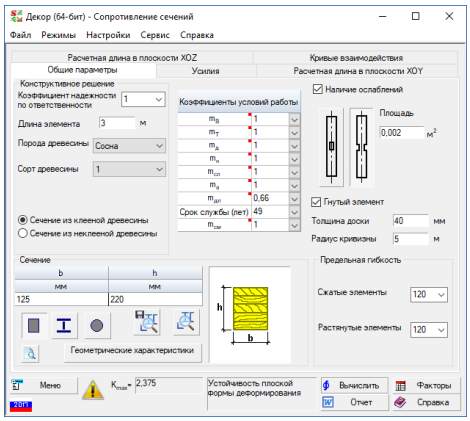


Рис. 12.3.5-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

В этом режиме реализуется функция определения несущей способности любого из предусмотренных в программе поперечных сечений. В общем случае расчеты выполняются на действие продольной силы, изгибающих моментов и поперечных сил, действующих в главных плоскостях инерции. Реализован весь комплекс проверок по прочности, устойчивости и гибкости в соответствии с выбранным нормативным документом.

Сечение проверяется по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330. 2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Гибкость элемента в плоскости XoY	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Гибкость элемента в плоскости XoZ	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Прочность элемента при действии растягивающей продольной силы	п. 4.1	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.2.1	п. 6.1.2
Прочность элемента при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.1	п. 6.1.4
Устойчивость в плоскости XoZ при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость в плоскости XoY при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_y	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_z	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии M_y и M_z	п. 4.12	п. 6.12	п. 7.12	п. 9.4.3	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента M_z	пп. 4.16, 4.17	пп. 6.16, 6.17	пп. 7.16, 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента M_y	пп. 4.16, 4.17	пп. 6.16, 6.17	пп. 7.16, 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4.
Прочность при действии поперечной силы Q_z	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при действии поперечной силы Q_y	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Устойчивость плоской формы деформирования	пп. 4.14, 4.15, 4.18	пп. 6.14, 6.15, 6.20	пп. 7.14, 7.15, 7.20	пп. 9.4.4, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.2.4, 6.3.3
Прочность при действии крутящего момента M_x				п. 9.7.1	п. 6.1.8

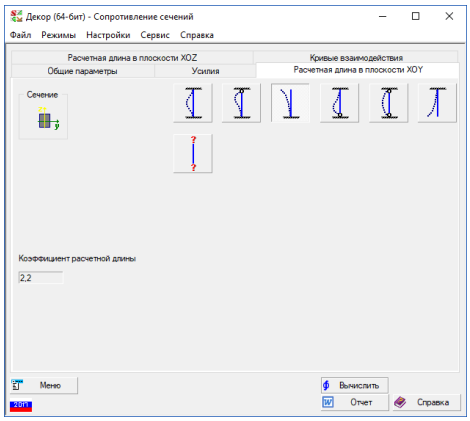


Рис. 12.3.5-2. *Страница* **Расчетная длина** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Окно режима содержит пять страниц: **Общие параметры**, **Усилия**, **Расчетная длина в плоскости XoY**, **Расчетная длина в плоскости XoZ, Кривые взаимодействия**. Первые четыре страницы используются при вводе исходных данных, а четвертая — для анализа результатов расчета.

На странице **Общие параметры** (рис. 12.3.5-1) задается информация о сечении (см. раздел 7.3.1), древесине (см. раздел 12.3.1), коэффициентах условий работы (см. раздел 12.3.1) и предельных гибкостях. Кроме того, предусмотрена возможность анализировать работу ослабленных сечений (маркер **Наличие ослаблений**). Если этот маркер активен, то необходимо задать вид ослабления и его площадь.

Страницы **Расчетная длина в плоскости XoY (XoZ)** является точной копией страницы **Расчетные длины** для случая **Отдельно стоящие колонны и стойки** из режима **Расчетные длины** и предлагает шесть возможных вариантов концевых закреплений для сжатого стержневого элемента, отличающихся друг от друга комбинациями граничных условий (свободный конец, шарнир, полное защемление). Работа с этим окном описана в разделе 12.3.3. В отличие от режима **Расчетные длины** в этом окне есть кнопка (рис. 12.3.5-2), при нажатии которой появляется возможность ввести любое значение коэффициента расчетной длины и подтвердить свой выбор нажатием кнопки **Применить**. Во всех остальных случаях это поле не допускает ввода данных.

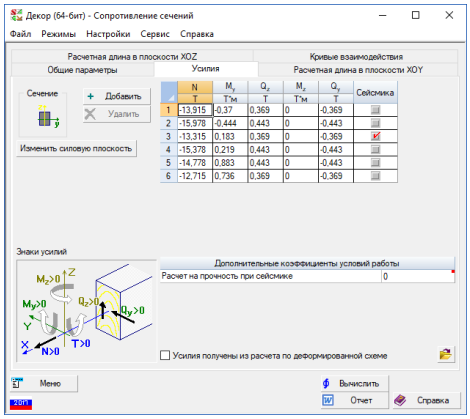


Рис. 12.3.5-3. *Страница* **Усилия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Страница **Усилия** (рис. 12.3.5-3) предназначена для ввода усилий, действующих на поперечное сечение элемента. Приведенная на ней схема поперечного сечения с изображением главных осей инерции указывает на положительные направления усилий. Страница содержит таблицу, в которой задаются усилия, действующие в сечении от одного или нескольких загружений. Количество строк в таблице соответствует количеству загружений. Таблица может быть заполнена и путем импорта из **SCAD** данных, описывающих расчетные сочетания усилий (РСУ). Файл с расширением **.rsu2** (или **.rsu**) создается в режиме **Информация об элементе** комплекса **SCAD** и импортируется программой **Декор** по нажатии кнопки .

Поскольку в данном режиме усилия в сечении элемента вводятся на основании статического расчета, выполненного вне программы **Декор**, то следует указать, на основании какой расчетной модели они (усилия) получены — из расчета по деформированной схеме (нелинейный расчет) или из расчета по первоначальной геометрии (линейный расчет). В случае нелинейного расчета активируется маркер **Усилия получены из расчета по деформированной схеме**.

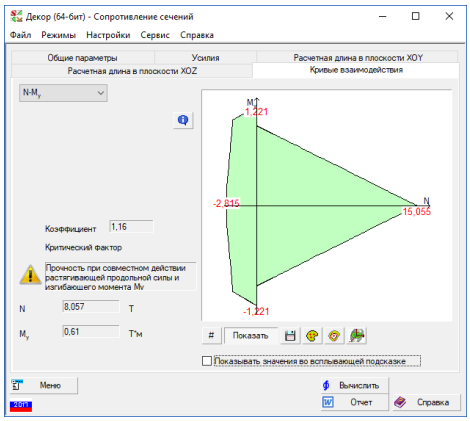


Рис. 12.3.5-4. *Страница* **Кривые взаимодействия** *диалогового окна* **Сопротивление сечений**

Отдельные загружения могут быть помечены с помощью маркера **Сейсмика**. В этом случае будут автоматически учтены требования соответствующего (выбранного в главном окне) нормативного документа об использовании дополнительного коэффициента условий работы при строительстве в сейсмических районах. Кроме того, в данном окне появится специальная таблица, в которой можно ввести коэффициент учета сейсмического воздействия при расчетах на прочность. По умолчанию, если задан нуль, значение принимается согласно соответствующим сейсмическим нормам.

В рамках режима **Сопротивление сечений** предусмотрена возможность смены силовой плоскости (кнопка **Изменить силовую плоскость**). По нажатии этой кнопки в таблице усилий для каждого загружения производится смена M_y на M_z и Q_y на Q_z.

На странице **Кривые взаимодействия** (рис. 12.3.5-4) строятся кривые, ограничивающие область несущей способности сечения при действии на него различных пар усилий, которые могут быть приложены к рассматриваемому сечению.

Кривые взаимодействия окружают начало координат замкнутой линией, внутри которой располагаются точки с условно допустимыми парами рассматриваемых усилий. Напомним, что пара усилий считается допустимой, когда $K_{max} \le 1$. При этом все остальные усилия полагаются равными нулю.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений действующих усилий, величины которых отображаются в соответствующих полях.

Поскольку факторы по гибкости не зависят от усилий, то при построении кривых взаимодействия они не вычисляются.

Одновременно выводится и максимальное значение коэффициента использования ограничений, соответствующее этим усилиям, и тип проверки, при которой он вычислен. Если курсор располагается в точке со значением $K_{max} > 1$, то появляется предупреждающий сигнал .

Нажатие правой кнопки мыши позволяет увидеть список выполненных проверок и значений факторов для набора усилий, соответствующих положению курсора на кривой взаимодействия.

Ограничения реализации

1. Расчетный момент сопротивления ослабленного сечения принят равным моменту сопротивления сечения брутто (у нас нет данных о форме ослабления, соответственно, мы не можем вычислить момент инерции ослабленного сечения).
2. При анализе устойчивости плоской формы деформирования коэффициент $k_Ф$ принимается равным 1.13.
3. В формуле (33) СНиП, КМК (формуле (38) СП 64.13330.2011, формуле (44) СП 64.13330.2017) степень n принимается равной 1.
4. Анализ устойчивости плоской формы деформирования для сжато-изгибаемых элементов проводится только в случае прямоугольного сечения, поскольку в формуле (33) СНиП, КМК (формуле (38) СП 64.13330.2011, формуле (44) СП 64.13330.2017) используется коэффициент φ_M, вычисляемый по формуле (23) СНиП, КМК (формуле (25) СП 64.13330.2011, формуле (31) СП 64.13330.2017). Последняя формула предназначена для прямоугольника.
5. При анализе устойчивости плоской формы деформирования балок переменного

сечения прямоугольной формы коэффициент $k_{ЖМ}$ принят равным 1, поскольку при числе раскреплений из плоскости $n \geq 4$ СНиП, КМК (п. 4.14 или п. 6.14 СП 64.13330.2011, п. 7.14 СП 64.13330.2017) оговаривает, что $k_{ЖМ}=1$, а при других значениях n идет отсылка к таблице 2 приложения 4 СНиП, КМК (таблице Е.2 приложения Е СП), где ничего не сказано о том, что делать в случае произвольной эпюры моментов.

6. При анализе прочности внецентренно растянутых и растянуто-изгибаемых элементов по формуле (27) СНиП, КМК (формуле (29) СП 64.13330.2011, формуле (35) СП 64.13330.2017) величина $M_д$ вычисляется по формулам (29), (30) СНиП, КМК (или формулам (31),(32) СП 64.13330.2011, формулам (37),(38) СП 64.13330.2017).

12.3.6 Неразрезные прогоны

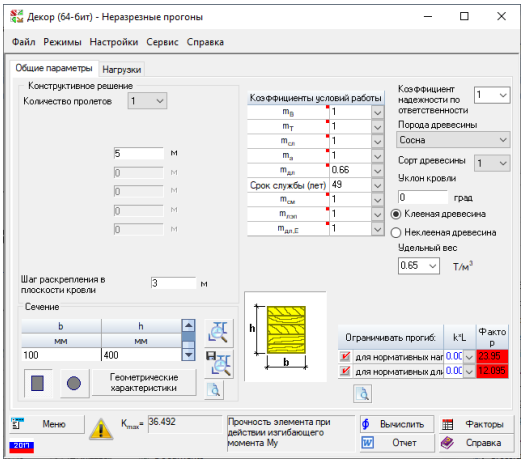


Рис. 12.3.6-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Неразрезные прогоны**

В этом режиме выполняется проверка неразрезных прогонов круглого или прямоугольного сечений. Окно (рис. 12.3.6-1) включает две страницы: **Общие параметры** и **Нагрузки**.

На странице **Общие параметры** задаются данные о числе пролетов и их длинах. Кроме того, здесь (по правилам, описанным в разделе 12.3.1) должна быть введена информация о сечении, древесине и коэффициентах условий работы. Здесь же можно задать угол наклона кровли (при этом будет учтена скатная составляющая усилий). Если требуется расчет по второму предельному состоянию, то следует взвести маркеры **Ограничение по прогибу** (для нормативных и/или нормативных длительных нагрузок) и выбрать в выпадающем списке (или ввести) максимально допустимое значение отношения максимального прогиба к длине пролета.

Страница **Нагрузки** (рис. 12.3.6-2) предназначена для задания нагрузок, действующих на прогон. В программе предусмотрена возможность расчета на несколько вариантов загружения, при этом каждое загружение может состоять из нескольких нагрузок.

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Загружения**;
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, снеговое или ветровое), что определяет коэффициенты сочетаний по СНиП, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

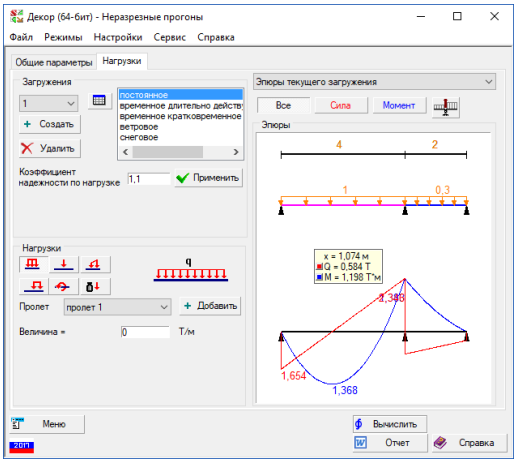


Рис. 12.3.6-2. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Неразрезные прогоны**

Для каждого загружения можно задать несколько компонентов нагрузки. Предполагается, что задаются *расчетные* значения нагрузок.

В зависимости от вида нагрузки ее характеристики включают:

- для распределенных нагрузок — интенсивность нагрузки;
- для распределенной нагрузки на части пролета — интенсивность нагрузки, позицию и ширину приложения;
- для сосредоточенной силы — величину силы и ее положение в пролете;
- для сосредоточенного момента — величину момента и его положение в пролете;
- для трапециевидной нагрузки — величины (в начале и в конце), привязку и ширину приложения;
- для нагрузки от собственного веса какие-либо дополнительные данные не требуются.

Для каждой нагрузки (за исключением нагрузки от собственного веса) следует также указать пролет, в котором эта нагрузка приложена (выбор производится в выпадающем списке **Пролет**).

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить**.

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, то достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения, а под ним — совмещенная схема эпюры моментов и поперечных сил (рис. 12.3.6-2).

После ввода всех загружений можно просмотреть, какой вид имеют огибающие моментов и соответствующих им поперечных сил, а также огибающие поперечных сил и соответствующих им моментов. Выбор критерия (максимальный/минимальный момент, максимальная/минимальная поперечная сила) производится в выпадающем списке. Огибающие строятся в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.

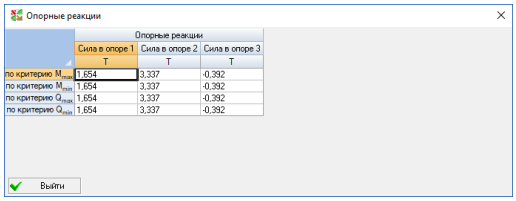


Рис. 12.3.6-3. *Диалоговое окно* **Опорные реакции**

Кнопки **Все**, **Сила** и **Момент** позволяют выбрать режим отображения эпюр — соответственно, отображение эпюры моментов и поперечных сил, только поперечных сил и только изгибающих моментов. Кроме того, нажатие кнопки приводит к отображению расчетных значений опорных реакций (рис. 12.3.6-3).

При движении мыши в области отображения эпюр на экран выводятся значения момента и перерезывающей силы в конкретном сечении, которое соответствует положению курсора.

Если требуется расчет по второму предельному состоянию, то следует проконтролировать правильность задания коэффициента надежности по нагрузке для каждого загружения, поскольку расчет прогибов выполняется на основании нормативных значений нагрузок.

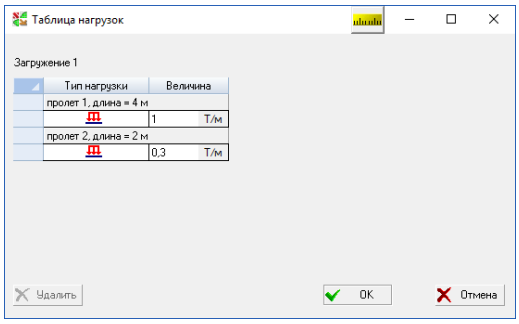


Рис. 12.3.6-4. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

Если в рамках одного загружения необходимо изменить значение нагрузки или удалить нагрузку, то для этого используется таблица нагрузок (кнопка в группе **Загружения**). В диалоговом окне **Таблица нагрузок** (рис. 12.3.6-4), которое появляется после нажатия этой кнопки, отображаются тип нагрузки, ее величина и позиция. Изменения, внесенные в параметры нагрузок, фиксируются после выхода из таблицы по нажатию кнопки **ОК**.

Расчет

Расчет значений факторов использования несущей способности выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**.

Прогоны проверяются по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330 .2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_y	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_z	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при действии поперечной силы Q_z	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при действии поперечной силы Q_y	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при совместном действии M_y и M_z	п. 4.12	п. 6.12	п. 7.12	п. 9.4.3	п. 6.1.6
Устойчивость плоской формы деформирования	п. 4.14	п. 6.14	п. 7.14	п. 9.4.4	п. 6.2.4
Прогиб	п. 4.33	п. 6.35	п. 7.35		

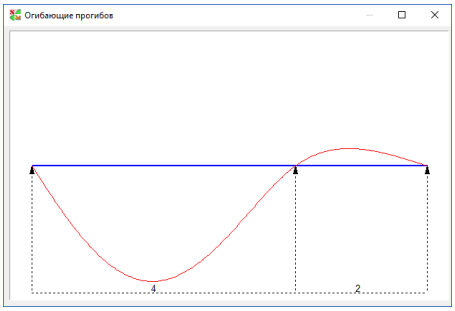


Рис. 12.3.6-5. *Диалоговое окно* **Огибающие прогибов**

Если на странице **Общие параметры** был активирован маркер **Ограничение по прогибу**, то производится вычисление огибающей прогибов. Максимальное значение прогиба отображается в группе **Максимальный прогиб** на странице **Общие параметры**. С помощью кнопки , расположенной в этой же группе, вызывается диалоговое окно, в котором отображаются эпюры прогибов (рис. 12.3.6-5).

Отметим, что при ненулевом угле наклона кровли прогоны подвергаются косому изгибу (изгибаются в двух плоскостях) и деформированная ось прогона представляет собой пространственную кривую. **Эпюры изгибающих моментов и огибающие прогибов рисуются для нулевого угла наклона кровли (!)**. Но значения факторов по прочности элемента при действии изгибающих моментов My и Mz, значение фактора по прочности при косом изгибе, а также экстремальное значение прогиба и соответствующий ему фактор вычисляются точно с учетом заданного пользователем уклона кровли.

Ограничения реализации

При определении максимального прогиба формула (50) СНиП, КМК (формула (55) СП 64.13330.2011, формула (61) СП 64.13330.2017) не используется, поскольку предусмотрены прогоны только постоянной высоты и, соответственно, таблице 3 приложения 4 СНиП, КМК (таблице Е.3 приложения Е СП 64.13330.2011, таблице Е.4 приложения Е СП 64.13330.2011) принято k=1, c=0 (первая строка таблицы — наиболее употребительный случай).

12.3.7 Консольно-балочные прогоны

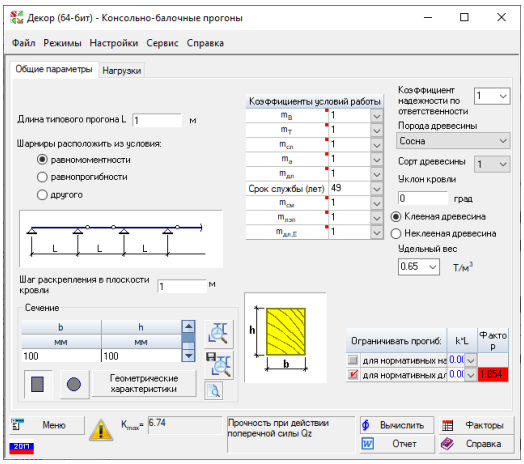


Рис. 12.3.7-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Консольно-балочные прогоны**

Этот режим аналогичен режиму **Неразрезные прогоны**. Отличия состоят в том, что на странице **Общие параметры** (рис. 12.3.7-1) задается только длина типового пролета (все типовые пролеты предполагаются одинаковой длины) и предусмотрена возможность задать расположение шарниров, исходя из равномоментной или равнопрогибной схем. Если выбирается другой вариант, то необходимо задать расстояние от опоры до шарнира.

Отметим, что, задав расстояние от опоры до шарнира равное нулю, данный режим можно использовать для расчета разрезных прогонов.

Для консольно-балочных прогонов предусмотрено задание только двух видов нагрузок — равномерно распределенная нагрузка на все пролеты и нагрузка от собственного веса.

Прогоны проверяются по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_y	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_z	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при действии поперечной силы Q_z	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при действии поперечной силы Q_y	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при совместном действии M_y и M_z	п. 4.12	п. 6.12	п. 7.12	п. 9.4.3	п. 6.1.6
Устойчивость плоской формы деформирования	п. 4.14	п. 6.14	п. 7.14	п. 9.4.4	п. 6.2.4
Прогиб	п. 4.33	п. 6.35	п. 7.35		

Ограничения реализации

При определении максимального прогиба формула (50) СНиП, КМК (формула (55) СП 64.13330.2011, формула (61) СП 64.13330.2017) не используется, поскольку предусмотрены прогоны только постоянной высоты и, соответственно, таблице 3 приложения 4 СНиП, КМК (таблице Е.3 приложения Е СП 64.13330.2011, таблице Е.4 приложения Е СП 64.13330.2017) принято k=1, c=0 (первая строка таблицы — наиболее употребительный случай).

При вычислениях предполагается, что крайний пролет имеет рекомендуемую (см. [1]) длину (~ 0.85 длины типового пролета). При этом максимальные значения изгибающих моментов, перерезывающих сил и прогибов не могут реализовываться в крайнем пролете, и крайний пролет исключен из анализа.

12.3.8 Балки

С помощью этого многостраничного окна (рис. 12.3.8-1) реализуется проверка обычной или двускатной балки. Окно включает три страницы: **Общие параметры**, **Закрепление**, **Нагрузки**.

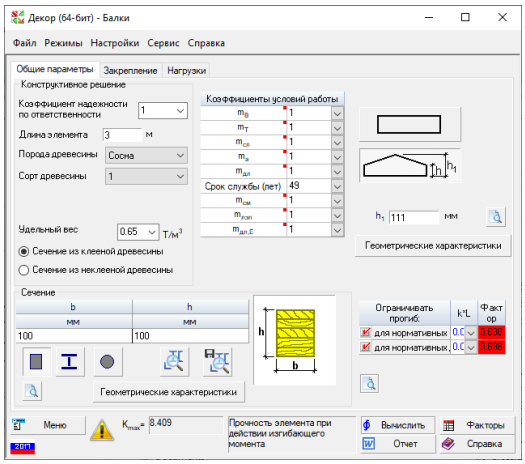


Рис. 12.3.8-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Балки**

Режим аналогичен режиму **Неразрезные прогоны**. Отличия состоят в том, что задается только одна длина балки и для случая прямоугольного сечения допускается расчет двускатных балок (в этом случае дополнительно указывается высота сечения в середине пролета).

Страница **Закрепление** (рис. 12.3.8-2) содержит две группы кнопок, с помощью которых выбирается система раскреплений балки в плоскости и из плоскости изгиба. Выбор внутри каждой группы осуществляется независимо нажатием кнопки с соответствующей схемой. Если при задании условий закрепления из плоскости изгиба назначен последний вариант, то открывается поле для ввода количества участков разбиения пролета балки.

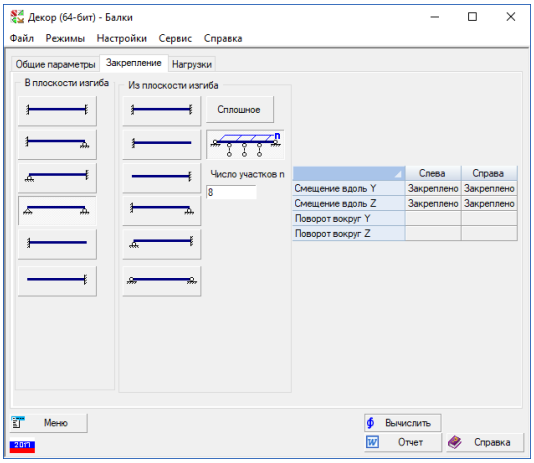


Рис. 12.3.8-2. *Страница* **Закрепление** *диалогового окна* **Балки**

С помощью таблицы отображения выбранной системы связей осуществляется контроль введенных исходных данных.

Задание нагрузок полностью аналогично заданию нагрузок на неразрезные прогоны (здесь не требуется указание номера пролета, в котором приложена нагрузка).

Балки проверяются по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Прочность элемента при действии изгибающего момента	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при действии поперечной силы	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Устойчивость плоской формы деформирования	пп. 4.14, 4.15	пп. 6.14, 6.15	пп. 7.14, 7.15	пп. 9.4.4	пп. 6.2.4
Прогиб	п. 4.33	п. 6.35	п. 7.35		

Ограничения реализации

При определении максимального прогиба в формуле (50) СНиП, КМК (формула (55) СП 64.13330.2011, формула (61) СП 64.13330.2017) для балок прямоугольного сечения коэффициенты *k* и *c* вычисляются по строке 4 таблицы 3 приложения 4 СНиП, КМК (таблицы Е.3 приложения Е СП 64.13330.2011, таблицы Е.4 приложения Е СП 64.13330.2017), то есть:

k=0.15+0.85β;

c=15.4+3.8β.

Для балок двутаврового сечения используется строка 5 таблицы 3 приложения 4 СНиП, КМК (таблицы Е.3 приложения Е СП 64.13330.2011, таблицы Е.4 приложения Е СП 64.13330.2017), то есть:

k=0.4+0.6β;

c=(45.3+6.9β)γ.

12.3.9 Стойки

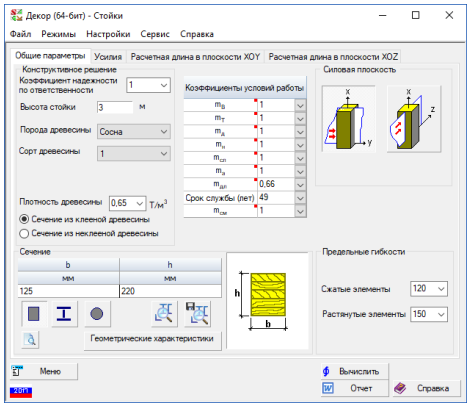


Рис. 12.3.9-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Стойки**

В этом режиме выполняется проверка конструкции стоек и колонн. Реализован весь комплекс проверок по прочности, устойчивости и гибкости в соответствии с требованиями выбранных норм проектирования. Предполагается, что реализуется плоская схема нагружения.

Диалоговое окно режима **Стойки** включает четыре страницы: **Общие параметры**, **Усилия**, **Расчетная длина в плоскости XoY**, **Расчетная длина в плоскости XoZ**.

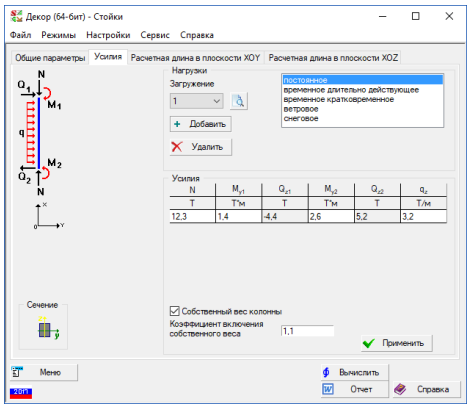


Рис. 12.3.9-2. *Страница* **Усилия**

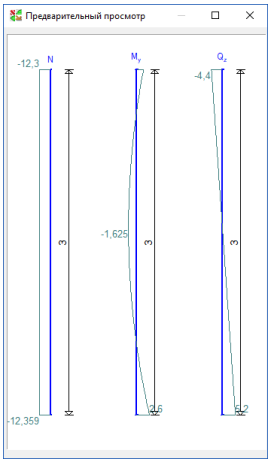


Рис. 12.3.9-3. *Диалоговое окно* **Предварительный просмотр**

Страница **Общие параметры** (рис. 12.3.9-1) содержит поле ввода высоты стойки и две кнопки для выбора силовой плоскости (ориентации плоскости деформирования). Здесь же по правилам (тем же, что описаны в разделе 7.3) задаются данные о сечении, древесине и коэффициентах условий работы. Кроме того, необходимо задать (ввести или выбрать из выпадающего списка) предельные гибкости (для сжатых и растянутых элементов).

На странице **Усилия** (рис. 12.3.9-2) для каждого загружения все действующие нагрузки задаются одновременно.

Для этих сил и моментов должны выполняться общие условия равновесия. В частности, поперечные силы Q_1 и Q_2, а также узловые моменты M_1 и M_2 необходимо принимать по результатам расчета системы в целом. Условия равновесия имеют вид:

$$Q_1 - Q_2 + qL = 0,$$
$$M_2 - M_1 - Q_1 L - qL^2/2 = 0.$$

Обратите внимание, что в этом режиме положительная продольная сила соответствует сжатию.

Отметим, что все нагрузки действуют в плоскости XoY или в плоскости XoZ (ось X ориентирована вдоль стержня). Выбор плоскости выполняется на странице **Общие параметры**.

По нажатию кнопки появляется диалоговое окно **Предварительный просмотр** с эпюрами усилий N, M_y и Q_z (рис. 12.3.9-3).

Страницы, на которых задаются расчетные длины, аналогичны соответствующим страницам режима **Сопротивление сечений** (см. раздел 12.3.5).

Стойки проверяются по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330. 2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Гибкость элемента в плоскости XoY	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Гибкость элемента в плоскости XoZ	п. 4.4	п. 6.4	п.7.4		
Прочность элемента при действии растягивающей продольной силы	п. 4.1	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.2.1	п. 6.1.2
Прочность элемента при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.1	п. 6.1.4

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Устойчивость в плоскости XoZ при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость в плоскости XoY при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_y	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность элемента при действии изгибающего момента M_z	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии M_y и M_z	п. 4.12	п. 6.12	п. 7.12	п. 9.4.3	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента M_z	пп. 4.16, 4.17	пп. 6.16, 6.17	пп. 7.16, 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4
Прочность при совместном действии продольной силы и изгибающего момента M_y	пп. 4.16, 4.17	пп. 6.16, 6.17	пп. 7.16, 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4
Прочность при действии поперечной силы Q_z	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Прочность при действии поперечной силы Q_y	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7
Устойчивость плоской формы деформирования	пп. 4.14, 4.15, 4.18	пп. 6.14, 6.15, 6.20	пп. 7.14, 7.15, 7.20	пп. 9.4.4, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.2.4, 6.3.3

Ограничения реализации

1. При анализе устойчивости плоской формы деформирования коэффициент $k_Ф$ принимается равным 1.13.
2. В формуле (33) (формуле (38) СП 64.13330.2011, формуле (44) СП 64.13330.2017) степень n принимается равной 1.
3. Анализ устойчивости плоской формы деформирования для сжато-изгибаемых элементов проводится только в случае прямоугольного сечения, поскольку в формуле (33) СНиП, КМК (формуле (38) СП 64.13330.2011, формуле (44) СП 64.13330.2017) используется коэффициент φ_M, вычисляемый по формуле (23) СНиП (формуле (25) СП 64.13330.2011, формуле (31) СП 64.13330.2017). Последняя формула предназначена для прямоугольника.
4. При анализе устойчивости плоской формы деформирования стоек переменного сечения прямоугольной формы коэффициент $k_{ЖМ}$ принят равным 1, поскольку при числе раскреплений из плоскости $n \geq 4$ СНиП, КМК (п. 4.14 или п. 6.14 СП 64.13330.2011, п. 7.14 СП 64.13330.2017) оговаривает, что $k_{ЖМ}=1$, а при других значениях n идет отсылка к таблице 2 приложения 4 СНиП (таблице Е.2 приложения Е СП), где ничего не сказано о

том, что делать в случае произвольной эпюры моментов.

5. При анализе прочности внецентренно растянутых и растянуто-изгибаемых элементов по формуле (27) СНиП, КМК (формуле (29) СП 64.13330.2011, формуле (35) СП 64.13330.2017) величина $M_д$ вычисляется по формулам (29), (30) СНиП (или формулам (31),(32) СП 64.13330.2011, формулам (37),(38) СП 64.13330.2017).

12.3.10 Фермы

С помощью этого режима осуществляются все необходимые проверки элементов ферм на прочность и устойчивость, а также проверяется их гибкость. Работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых внешних нагрузок для схем конструкций, наиболее часто используемых на практике.

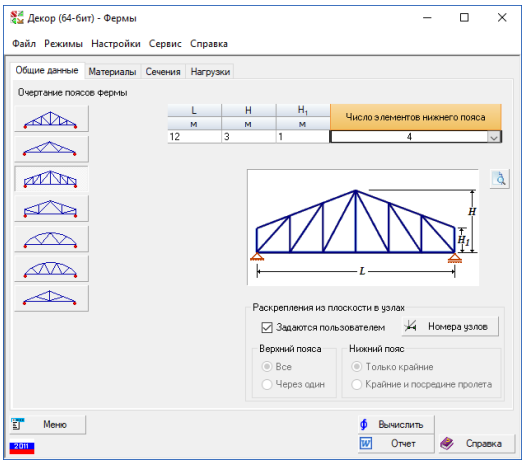


Рис. 12.3.10-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Фермы**

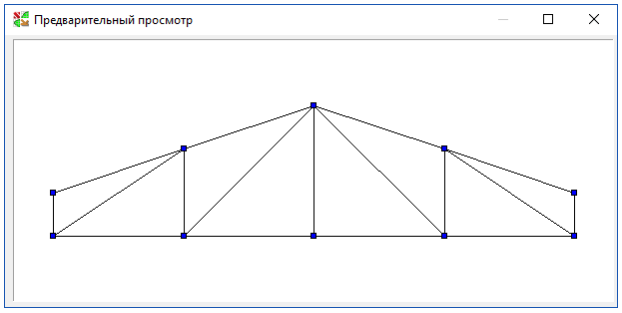


Рис. 12.3.10-2. *Диалоговое окно* **Предварительный просмотр**

Данный режим ориентирован на расчет деревянных ферм. Для расчета металло-деревянных ферм можно использовать следующий прием. Задать конфигурацию фермы и нагрузки. Все рассматриваемые фермы являются статически определимыми, поэтому усилия в элементах не зависят от материала. Каждый деревянный элемент может быть проверен на соответствие требованиям СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98 или СП 64.13330 с помощью программы **Декор**, а для проверки стальных элементов можно использовать программу **Кристалл**.

Исходные данные для режима задаются на четырех страницах — **Общие данные**, **Материалы**, **Сечения** и **Нагрузки**.

Страница **Общие данные** (рис. 12.3.10-1) содержит группу кнопок для выбора конфигурации фермы. Все фермы статически определимые и предполагаются закрепленными в крайних узлах нижнего пояса статически определимым способом по балочной схеме.

Для выбранной конфигурации задается пролет фермы, ее высота на опоре и в середине, а также число элементов нижнего пояса. После ввода всех геометрических размеров общий вид заданной фермы можно просмотреть в окне **Предварительный просмотр** (рис. 12.3.10-2), которое вызывается кнопкой .

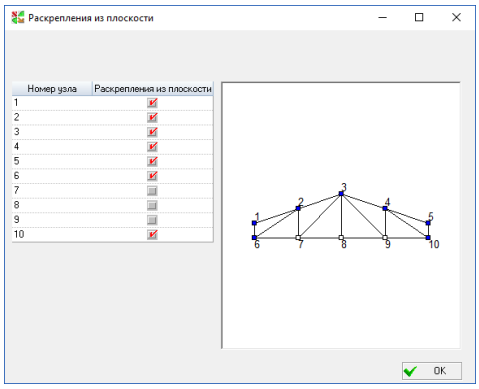


Рис. 12.3.10-3. *Диалоговое окно* **Раскрепления из плоскости**

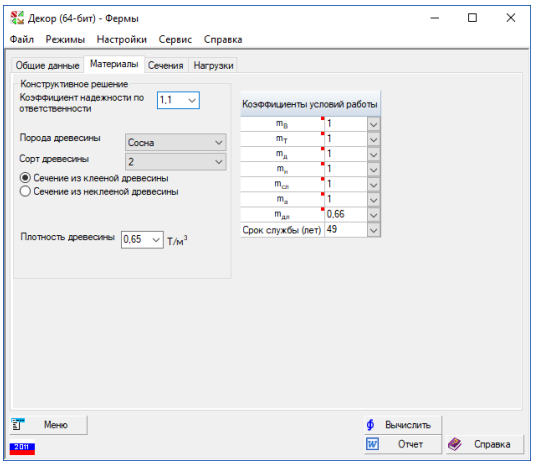


Рис. 12.3.10-4. *Страница* **Материалы** *диалогового окна* **Фермы**

В группе **Раскрепление из плоскости** с помощью маркеров указывается вариант раскрепления узлов верхнего и нижнего поясов из плоскости фермы (считается, что в плоскости фермы раскрепление произведено статически определимым образом — шарнирное неподвижное опирание левого опорного узла и шарнирное подвижное опирание правого узла).

Предусмотрена возможность задать нестандартное расположение раскреплений из плоскости. Для этого следует активировать маркер **Задаются пользователем** и кнопкой активировать диалоговое окно с таблицей (рис. 12.3.10-3). На расчетной схеме узлы, содержащие раскрепления из плоскости отмечаются синим цветом.

На странице **Материалы** (рис. 12.3.10-4) задается информация о древесине и коэффициентах условий работы.

На странице **Сечения** (рис. 12.3.10-5) для каждой группы элементов фермы (верхний пояс, нижний пояс, раскосы, стойки и опорные раскосы) необходимо задать размеры поперечного сечения.

Страница **Нагрузки** (рис. 12.3.10-6) во многом напоминает описанную ранее одноименную страницу в режиме **Неразрезные прогоны** (см. раздел 12.3.6), однако здесь имеются свои особенности. Во-первых, возможна лишь равномерно распределенная нагрузка и сосредоточенная сила; во-вторых, позиция сосредоточенной силы задается указанием номера узла. Для распределенных нагрузок программа предоставляет возможность одновременно задать распределенную нагрузку на выбранную пользователем группу элементов — верхний/нижний пояс или левую/правую половину пояса.

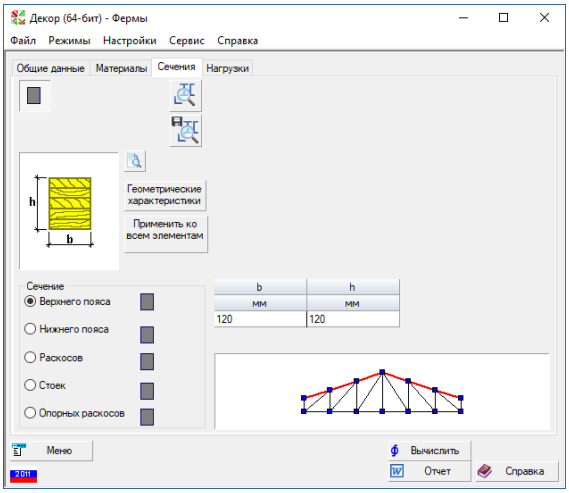


Рис. 12.3.10-5. *Страница* **Сечения** *диалогового окна* **Фермы**

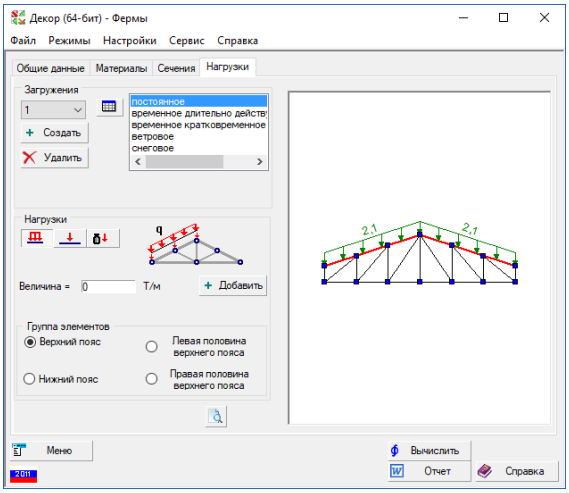


Рис. 12.3.10-6. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Фермы**

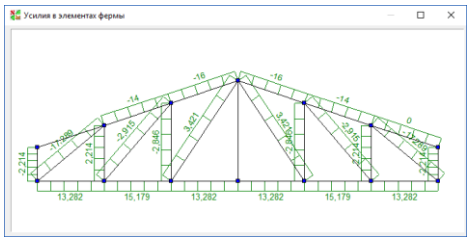


Рис. 12.3.10-7. *Диалоговое окно* **Усилия в элементах фермы**

Усилия в элементах фермы для текущего загружения отображаются в виде эпюр в окне **Усилия в элементах фермы**, которая вызывается нажатием кнопки (рис. 12.3.10-7).

Фермы проверяются по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330. 2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Гибкость элемента из плоскости фермы	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Гибкость элемента в плоскости фермы	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Прочность элемента при действии растягивающей продольной силы	п. 4.1	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.2.1	п. 6.1.2
Прочность элемента при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.3.1	п. 6.1.4

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Устойчивость в плоскости фермы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость из плоскости фермы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Жесткость фермы	п. 4.33	п. 6.35	п. 7.35		

В программе Декор (в отличие от SCAD) принято, что на ферму действует узловая нагрузка. Таким образом, заданная распределенная нагрузка не передается непосредственно на элементы фермы, а считается приложенной к некоторой ограждающей конструкции кровли, которая и выполняет функцию приведения нагрузки к узлам.

Как правило, на верхний пояс фермы действует распределенная нагрузка, это обстоятельство учитывается при расчете фермы в программе SCAD, при этом для наклонных элементов продольная сила меняется по его длине. Программа SCAD выводит значения максимального усилия по длине элемента. В Декоре при приведении распределенной нагрузки к узлам выводится значение, которое соответствует значению усилия в середине конечного элемента программы SCAD. Это приводит к различию представляемых результатов.

12.3.11 Элемент фермы

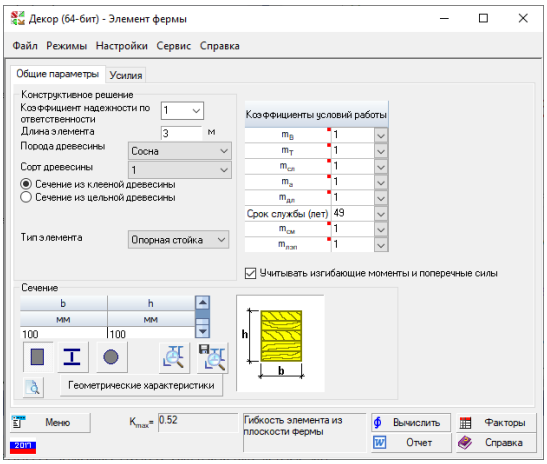


Рис. 12.3.11-1. *Диалоговое окно* **Элемент фермы**

Описанный выше режим **Фермы** предоставляет наиболее употребительный, но далеко не полный набор ферменных конструкций. Для анализа элементов произвольной фермы в программе предусмотрен специальный режим **Элемент фермы**, с помощью которого можно проанализировать несущую способность элемента фермы (предполагается, что задача статики решена ранее и усилия в элементе известны).

На странице **Общие параметры** (рис. 12.3.11-1) задаются данные о сечении элемента, его типе (элемент пояса, элемент решетки, ...), древесине и коэффициентах условий работы. Кроме того, в отдельной таблице задаются усилия (продольные силы) для произвольного числа загружений.

По умолчанию расчет элементов фермы производится на действие продольных сил. Специальный маркер позволяет также учесть действие изгибающих моментов и поперечных сил. В этом случае расчет аналогичен расчету в режиме **Сопротивление сечений**, но расчетные длины выбираются автоматически в соответствии с рекомендациями норм для элементов ферм.

Элемент фермы проверяется по следующим факторам:

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330. 2011	Ссылка на СП 64.13330. 2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Гибкость элемента из плоскости фермы	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Гибкость элемента в плоскости фермы	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Прочность элемента при действии растягивающей продольной силы	п. 4.1	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.2.1	п. 6.1.2
Прочность элемента при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.1	п. 7.1	п. 9.3.1	п. 6.1.4
Устойчивость в плоскости фермы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость из плоскости фермы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2

12.3.12 Арки

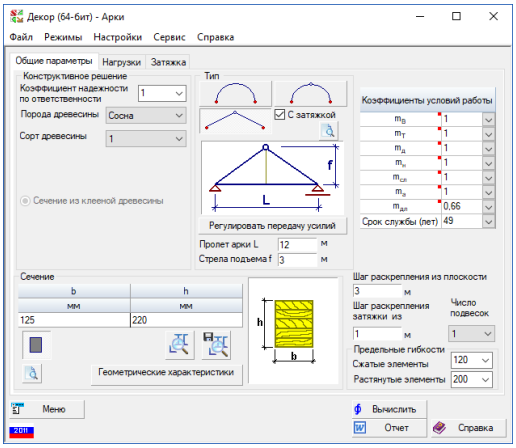


Рис. 0-1. *Диалоговое окно* **Арки**. *Страница* **Общие параметры**

В этом режиме выполняется проверка трех типов арок из клееной древесины прямоугольного сечения: двухшарнирных и трехшарнирных кругового очертания, а также трехшарнирных с треугольным очертанием. Предусмотрена возможность задания затяжки из парных уголков или круглого металлопроката.

В случае отсутствия затяжки окно **Арки** включает две страницы: **Общие параметры** и **Нагрузки**. Если предусматривается затяжка, добавляется одноименная страница (рис. 0-1).

На странице **Общие параметры** задаются следующие данные:

- вид арки;
- признак наличия затяжки;
- величина пролета и стрелы подъема;
- количество подвесок (определяет шаг раскрепления затяжки в плоскости);
- шаг раскрепления из плоскости;
- шаг раскрепления затяжки (в случае ее наличия);
- предельные гибкости для сжатых и растянутых элементов.

Кроме того, по стандартным правилам, описанным в разделе 3.1, должна быть введена информация о сечении, древесине, коэффициенте надежности по ответственности и о

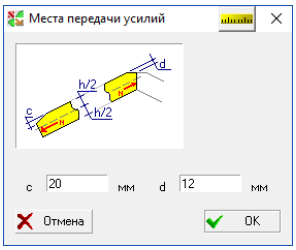


Рис. 0-2. *Диалоговое окно* **Места передачи усилий**

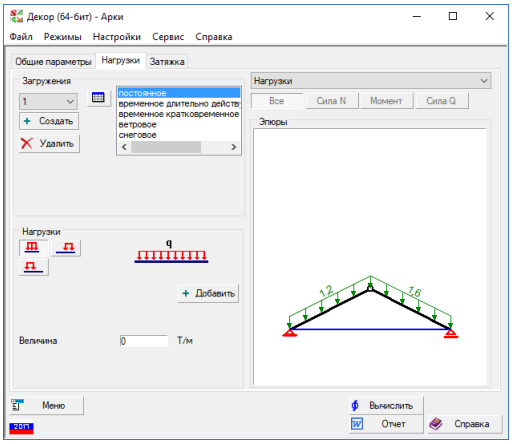


Рис. 0-3. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Арки**

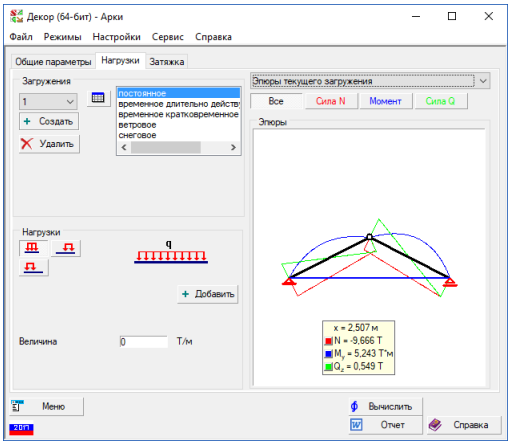


Рис. 0-4. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Арки** в режиме построения эпюр

коэффициентах условий работы. Расчетные длины принимаются согласно пункту 6.25 СНиП (пункту 8.56 СП 64.13330.2011, пункту 9.36 СП 64.13330.2017).

Для треугольных арок можно задать значения искусственных эксцентриситетов для снижения пролетного момента. Данные вводятся в диалоговом окне **Места передачи усилий** (рис. 0-2), которое вызывается нажатием кнопки **Регулировать передачу усилий**.

Страница **Нагрузки** (рис. 0-3) предназначена для задания нагрузок, действующих на арку. В программе предусмотрена возможность расчета на несколько вариантов загружения, при этом каждое загружение может состоять из нескольких нагрузок.

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Загружения**;
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, снеговое или ветровое), что определяет коэффициенты сочетаний по СНиП 2.01.07-85*, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

Для каждого загружения можно задать несколько компонентов нагрузки. Предполагается, что задаются расчетные значения нагрузок. Предусмотрена возможность задания равномерно распределенной нагрузки по всему пролету, на правую и левую половину арки, а также треугольной нагрузки на каждую половину арки.

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить**. Удаление конкретных нагрузок выполняется в диалоговом окне **Таблица нагрузок** (рис. 0-5), которое вызывается нажатием на одноименную кнопку . Для удаления нагрузки необходимо выполнить следующие действия:

- в списке **Загружения** выбрать номер загружения, в которое входит удаляемая нагрузка;
- нажать кнопку **Таблица нагрузок**;
- отметить строку (строки) с удаляемой нагрузкой (нагрузками);
- нажать кнопку **Удалить**;
- выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Таблица нагрузок может использоваться и для изменения значения величины нагрузки. В этом случае достаточно заменить значение в столбце **Величина** и выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо

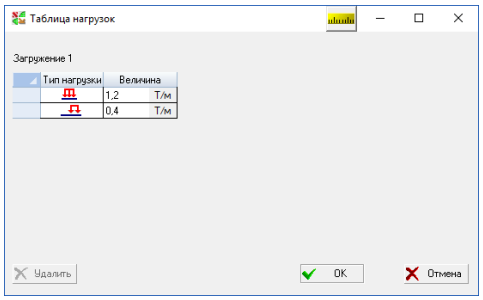


Рис. 0-5. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения. Если выбрать в списке над окном расчетной схемы режим **Эпюры текущего загружения** и нажать кнопку **Все**, то будет показана совмещенная схема, включающая эпюры моментов, продольных и поперечных сил (рис. 0-4). С помощью кнопок **Сила N**, **Момент**, **Сила Q** можно получить отображение соответствующего силового фактора в отдельности, а также минимаксные значения для каждого силового фактора.

Проверка арки выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Арки проверяются по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330. 2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Гибкость в плоскости арки	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Гибкость из плоскости арки	п. 4.4	п. 6.4	п. 7.4		
Прочность при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.1	п. 6.1.4
Устойчивость в плоскости арки при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость из плоскости арки при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Прочность при действии изгибающего момента	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии изгибающего момента и продольной силы	п. 4.17	п. 6.17	п. 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4
Устойчивость плоской формы деформирования	п. 4.18	п. 6.20	п. 7.20	пп. 9.4.4, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.2.4, 6.3.3
Прочность при действии поперечной силы	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7

При наличии затяжки дополнительно проверяются:

Прочность затяжки — (п. 5.1 СНиП II-23-81*, п. 7.1.1 СП 16.13330, п. 7.1 КМК 2.03.05-97);

Гибкость затяжки в плоскости арки — (п. 6.16 СНиП II-23-81*, п. 10.4.1 СП 16.13330, п. 8.13 КМК 2.03.05-97);

Гибкость затяжки из плоскости арки — (п. 6.16 СНиП II-23-81*, п. 10.4.1 СП 16.13330, п. 8.13 КМК 2.03.05-97).

12.3.13 Наслонные стропила

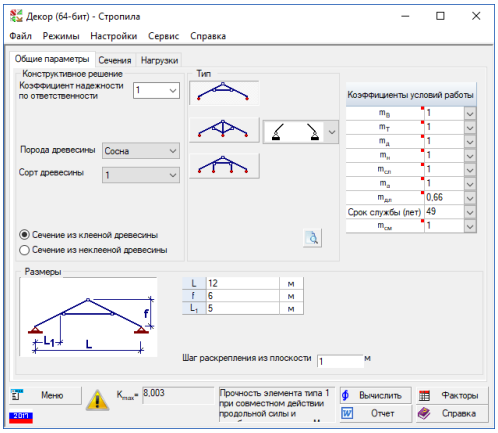


Рис. 12.3.13-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Стропила**

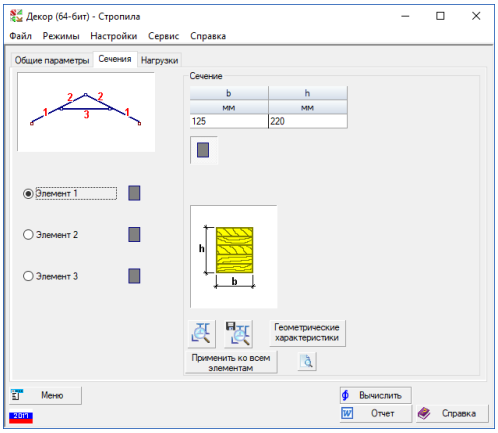


Рис. 12.3.13-2. *Страница* **Сечения** *диалогового окна* **Стропила**

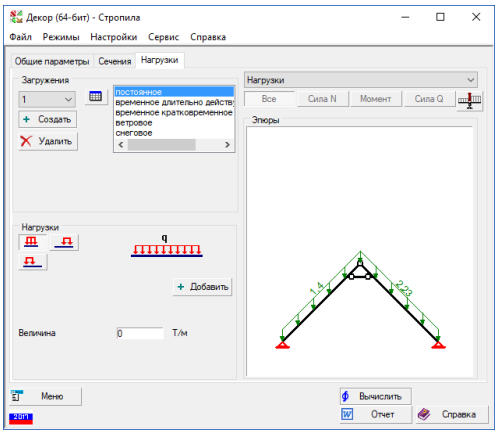


Рис. 12.3.13-3. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Стропила**

В этом режиме выполняется проверка трех типов стропильных конструкций из древесины прямоугольного или круглого сечений.

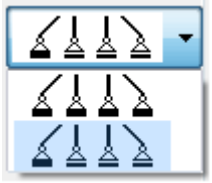
Окно **Стропила** включает три страницы: **Общие параметры, Сечения** и **Нагрузки**.

На странице **Общие параметры** задаются следующие данные:

- вид стропильной конструкции;
- геометрические размеры;
- шаг раскрепления из плоскости.

Кроме того, по стандартным правилам, описанным в разделе 12.3.13, должна быть введена информация о древесине, коэффициенте надежности по ответственности и о коэффициентах условий работы. Расчетные длины принимаются согласно пункту 6.25 СНиП (пункту 8.56 СП).

С помощью отдельного выпадающего списка



можно выбрать один из вариантов схемы опирания.

Висячие стропила представлены в разделе **Фермы**.

На странице **Сечения** (рис. 12.3.13-2) для каждой группы элементов необходимо задать тип и размеры поперечного сечения.

Стропила состоят из следующих элементов:

1-й тип:

- стропильные ноги (элементы 1, 2);
- затяжка (элемент 3);

2-й тип:

- стропильные ноги (элементы 1, 2);
- подкосы (элемент 3);
- стойка (элемент 4);

3-й тип:

- стропильные ноги (элементы 1, 2);
- опорная рамка (элементы 3, 4).

Страница **Нагрузки** (рис. 12.3.13-3) предназначена для задания нагрузок, действующих на стропила. В программе предусмотрена возможность расчета на несколько вариантов загружения, при этом каждое загружение может включать несколько нагрузок.

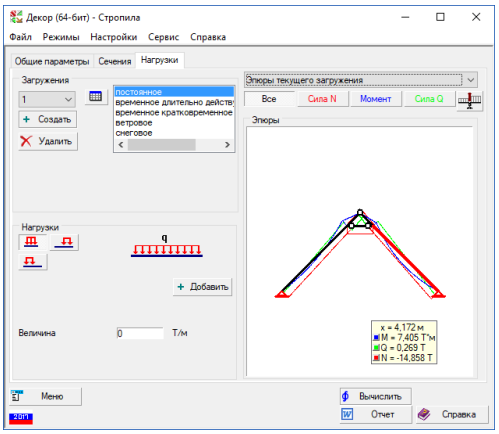


Рис. 12.3.13-4. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Стропила** в режиме построения эпюр

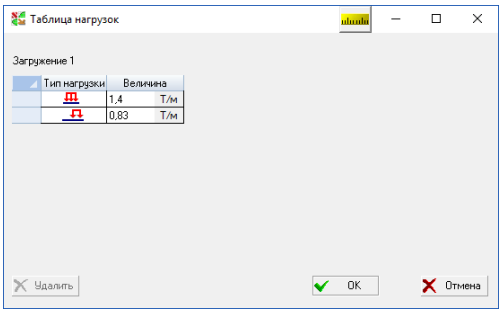


Рис. 12.3.13-5. *Диалоговое окно* **Таблица нагрузок**

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Загружения**;
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, ветровое или снеговое), что определяет коэффициенты сочетаний по СНиП 2.01.07-85*, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения. Если выбрать в списке над окном расчетной схемы режим **Эпюры текущего загружения** и нажать кнопку **Все**, то будет показана совмещенная схема, включающая эпюры моментов, продольных и поперечных сил (рис. 12.3.13-4). С помощью кнопок **Сила N**, **Момент M**, **Сила Q** можно получить отображение соответствующего силового фактора в отдельности, а также минимаксные значения для каждого силового фактора.

Для каждого загружения можно задать несколько компонентов нагрузки. Предполагается, что задаются расчетные значения нагрузок. Предусмотрена возможность задания равномерно распределенной нагрузки по всему пролету, на правую или левую половину стропил.

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить**. Удаление конкретных нагрузок выполняется в диалоговом окне **Таблица нагрузок** (рис. 12.3.13-5), которое вызывается нажатием на одноименную кнопку . Для удаления нагрузки необходимо выполнить следующие действия:

- в списке **Загружения** выбрать номер загружения, в которое входит удаляемая нагрузка;
- нажать кнопку **Таблица нагрузок**;
- отметить строку (строки) с удаляемой нагрузкой (нагрузками);
- нажать кнопку **Удалить**;
- выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Таблица нагрузок может использоваться и для изменения значения величины нагрузки. В этом случае достаточно заменить значение в столбце **Величина** и выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

Проверка стропил выполняется по нажатию кнопки **Вычислить**. Каждый элемент стропильной конструкции проверяется по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.13330. 2011**	**Ссылка на СП 64.13330. 2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Прочность при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.1	п. 6.1.4
Устойчивость в плоскости стропил при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость из плоскости стропил при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость плоской формы деформирования	п. 4.18	п. 6.14	п. 7.14	пп. 9.4.4, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.2.4, 6.3.3
Прочность при действии изгибающего момента	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии изгибающего момента и продольной силы	п. 4.17	п. 6.17	п. 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4.
Прочность при действии поперечной силы	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7

12.3.14 Рамы

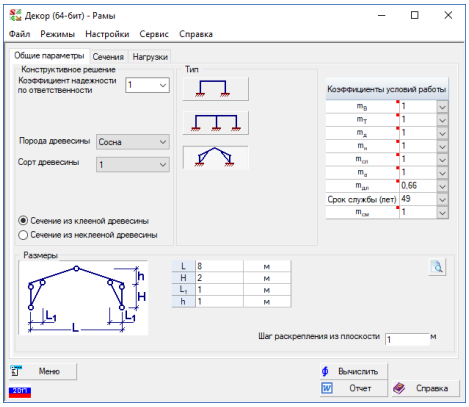


Рис. 0-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна* **Рамы**

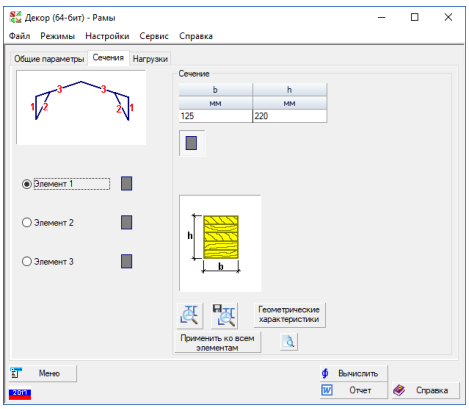


Рис. 0-2. *Страница* **Сечения** *диалогового окна* **Рамы**

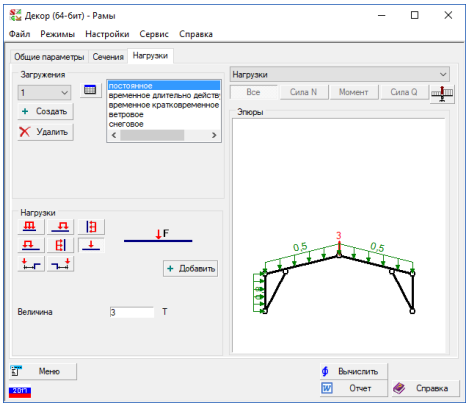


Рис. 0-3. *Страница* **Нагрузки** *диалогового окна* **Рамы**

В этом режиме выполняется проверка трех типов одноэтажных рам из клееной и цельной древесины прямоугольного сечения — двухпролетных и однопролетных с горизонтальным ригелем, однопролетных с коньковым ригелем и подкосами.

Трехстраничное диалоговое окно режима **Рамы** (рис. 0-1) включает страницы **Общие параметры**, **Сечения** и **Нагрузки**.

На странице **Общие параметры** назначаются следующие данные:

- тип рамы;
- характеристики конструктивного решения, которые включают коэффициент надежности по ответственности, породу, сорт древесины а также указатель (маркер) клееной или цельной древесины;
- коэффициенты условий работы;
- размеры рамы;
- значение шага раскрепления из плоскости.

Нажатием кнопки **Предварительный просмотр** открывается одноименное окно со схемой заданной рамы.

На странице **Сечения** (рис. 0-2) задаются сечения элементов рамы. Кроме того, расположенные на этой странице кнопки позволяют загрузить ранее созданное сечение из базы данных пользователя, записать сечения, заданные для текущей задачи, в базу данных, просмотреть геометрические характеристики сечения, применить выбранное из базы сечение ко всем элементам схемы. Нажатием кнопки **Предварительный просмотр** открывается одноименное окно со схемой заданного сечения.

Страница **Нагрузки** (рис. 0-3) предназначена для задания нагрузок, действующих на раму. В программе предусмотрена возможность расчета нескольких вариантов загружения, при этом каждое загружение может состоять из нескольких нагрузок.

Для ввода очередного загружения (включая первое) следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Создать** в группе **Загружения**;
- выбрать вид загружения (постоянное, временное длительно действующее, кратковременное, снеговое или ветровое), что определяет коэффициенты сочетаний по СНиП 2.01.07-85*, с которыми будут учитываться нагрузки этого загружения в комбинации нагрузок;
- нажать кнопку с изображением нужного вида нагрузки;
- ввести значения характеристик нагрузки;
- нажать кнопку **Добавить**.

Для каждого загружения можно задать несколько

компонентов нагрузки. Предполагается, что задаются расчетные значения нагрузок. В программе предусмотрено задание следующих видов нагрузок:

— равномерно распределенная нагрузка на ригель;

— сосредоточенная нагрузка на ригель (только для рам с подкосами и арочных рам);

— равномерно распределенные нагрузки на правый и левый пролеты, на правую и левую части ригеля (кроме однопролетной рамы);

— нагрузки от соседних частей конструкции, расположенных слева и справа;

— ветровая нагрузка на левую и правую стойки (кроме арочной рамы).

Для удаления загружения (но не отдельной нагрузки, входящей в него) используется кнопка **Удалить**. Удаление конкретных нагрузок выполняется в диалоговом окне **Таблица нагрузок** (рис. 0-4), которое вызывается нажатием на одноименную кнопку . Для удаления нагрузки необходимо выполнить следующие действия:

- в списке **Загружения** выбрать номер загружения, в которое входит удаляемая нагрузка;
- нажать кнопку **Таблица нагрузок**;
- отметить строку (строки) с удаляемой нагрузкой (нагрузками);
- нажать кнопку **Удалить**;
- выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

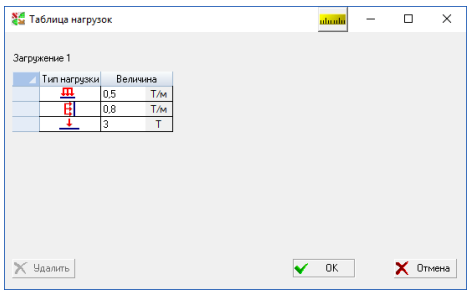


Рис. 0-4. Диалоговое окно **Таблица нагрузок**

Таблица нагрузок может использоваться и для изменения значения величины нагрузки. В этом случае достаточно заменить значение в столбце **Величина** и выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Переход к следующему загружению реализуется кнопкой **Создать**, при нажатии которой количество загружений автоматически увеличивается на единицу. Если необходимо уточнить данные по любому из ранее введенных загружений, то достаточно выбрать его номер в списке **Загружение**.

После нажатия кнопки **Добавить** в поле **Эпюры** появляется изображение текущего состояния загружения. Если выбрать в списке над окном расчетной схемы режим **Эпюры текущего загружения** и нажать кнопку **Все**, то будет показана совмещенная схема, включающая эпюры моментов, продольных и поперечных сил. С помощью кнопок **Сила N**, **Момент**, **Сила Q** можно получить отображение соответствующего силового фактора в отдельности, а также минимаксные значения для каждого силового фактора.

Каждый элемент рамной конструкции проверяется по следующим факторам:

Проверка	**Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98**	**Ссылка на СП 64.1333 0.2011**	**Ссылка на СП 64.1333 0.2017**	**Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017**	**Ссылка на EN 1995-1-1-2009**
Прочность при действии сжимающей продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.1	п. 6.1.4
Устойчивость в плоскости рамы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2

Проверка	Ссылка на СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	Ссылка на СП 64.13330.2011	Ссылка на СП 64.13330.2017	Ссылка на ДБН В.2.6-161:2017	Ссылка на EN 1995-1-1-2009
Устойчивость из плоскости рамы при действии продольной силы	п. 4.2	п. 6.2	п. 7.2	п. 9.3.3	п. 6.3.2
Устойчивость плоской формы деформирования	пп. 4.14, 4.18	пп. 6.14, 6.20	пп. 7.14, 7.20	пп. 9.4.4, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.2.4, 6.3.3
Прочность при действии изгибающего момента	п. 4.9	п. 6.9	п. 7.9	п. 9.4.1	п. 6.1.6
Прочность при совместном действии изгибающего момента и продольной силы	п. 4.17	п. 6.17	п. 7.17	пп. 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.2.3, 6.2.4
Прочность при действии поперечной силы	п. 4.10	п. 6.10	п. 7.10	п. 9.4.2	п. 6.1.7

12.4 Особенности реализации СП 64.13330

СП 64.13330.2017 предлагает два способа определения расчетных сопротивлений древесины (согласно п. 6.1 и п. 6.2). В программе Декор используются рекомендации п. 6.1. Подход аналогичный п. 6.2 присутствовал и в Приложении В к СП 64.13330.2011, но несмотря на обязательный статус этого приложения какие-либо ссылки на него в тексте СП 64.13330.2011 отсутствуют. При расчетах по СП 64.13330.2011 расчетные сопротивления определяются на основании таблицы 3 (см. п. 5.2).

Пользователь должен сам задать коэффициент длительной прочности $m_{дл}$. При этом по умолчанию используется значение $m_{дл}$=0,66. Автоматическое определение данного коэффициента не реализовано, поскольку классификация загружений, используемая в таблице В.1 СП 64.13330.2011 и таблице 4 СП 64.13330.2017 не соответствует классификации, принятой в СП 20.13330.

При определении прогибов используется значение модуля упругости E=10000 МПа.

12.5 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе Декор

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов				
	при расчетах по СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	при расчетах по СП 64.13330.2011	при расчетах по СП 64.13330.2017	при расчетах по ДБН В.2.6-161:2017	при расчетах по EN 1995-1-1-2009
Предельные прогибы и деформации	Таблицы 15, 16	Таблицы 18, 19	Таблица 17	Таблица 10.2	Таблица 7.2
Плотности	Приложение 3	Приложение Д	Приложение Г		
Сортамент древесины	ГОСТ 24454-80	ГОСТ 24454-80	ГОСТ 24454-80		
Расчетные сопротивления	пп. 3.1, 3.2	пп. 5.1,5.2	пп. 6.1, 6.2		

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов				
	при расчетах по СНиП II-25-80, КМК 2.03.08.98	при расчетах по СП 64.13330.2011	при расчетах по СП 64.13330.2017	при расчетах по ДБН В.2.6-161:2017	при расчетах по EN 1995-1-1-2009
Древесина	Таблица 1, таблица 2, п. 3.5	Таблица 1, таблица 2, пп. 5.3-5.5	Таблица 1, таблица 2		
Предельные гибкости	Таблица 14, таблица 1 приложения 4	Таблица 17, таблица Е.1 приложения Е	Таблица 16, таблица Е.1 приложения Е		
Расчетные длины	п. 4.21	п.6.23	п.7.23	пп. 9.3, 9.4	пп. 6.3
Сопротивление соединений	пп. 3.1, 3.2, 5.2, 5.3, 5.11,5.13-5.15, 5.18*	пп. 5.1, 5.2, 7.2, 7.3, 7.11, 7.13-7.15, 7.18	пп. 6.1, 6.2, 8.2, 8.3, 8.11, 8.13-8.16, 8/20		
Сопротивление сечений	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.4, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14-4.18	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 6.9, 6.10, 6.12, 6.14-6.18	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.4, 7.9, 7.10, 7.12, 7.14-7.18	пп. 9.2 – 9.7	пп. 6.1 – 6.3
Неразрезные прогоны	пп. 3.1, 3.2, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14, 4.15, 4.18, 4.33	пп. 5.1, 5.2, 6.9, 6.10, 6.12, 6.14, 6.15, 6.18, 6.35	пп. 6.1, 6.2, 7.9, 7.10, 7.12, 7.14, 7.15, 7.18, 7.35	пп. 9.4.1 – 9.4.4	пп. 6.1.6, 6.1.7, 6.2.4
Консольно-балочные прогоны	пп. 3.1, 3.2, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14, 4.15, 4.18, 4.33	пп. 5.1, 5.2, 6.9, 6.10, 6.12, 6.14, 6.15, 6.18, 6.35	пп. 6.1, 6.2, 7.9, 7.10, 7.12, 7.14, 7.15, 7.18, 7.35	пп. 9.4.1 – 9.4.4	пп. 6.1.6, 6.1.7, 6.2.4
Балки	пп. 3.1, 3.2, 4.9, 4.10, 4.14, 4.15, 4.18, 4.33	пп. 5.1, 5.2, 6.9, 6.10, 6.14, 6.15, 6.18, 6.35	пп. 6.1, 6.2, 7.9, 7.10, 7.14, 7.15, 7.18, 7.35	пп. 9.4.1, 9.4.2, 9.4.4	пп. 6.1.6, 6.1.7, 6.2.4
Стойки	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.4, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14-4.18	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 6.9, 6.10, 6.12, 6.14-6.18	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.4, 7.9, 7.10, 7.12, 7.14-7.18	пп. 9.2, 9.3, 9.4.1-9.4.4, 9.5, 9.6	пп. 6.1, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2, 6.3.3
Элемент фермы	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.4	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.4	пп. 9.2.1, 9.31, 9.3.3.	пп. 6.1.2, 6.1.4, 6.3.2.
Фермы	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.4, 4.33	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 6.35	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.4, 7.35	пп. 9.2.1, 9.31, 9.3.3	пп. 6.1.2, 6.1.4, 6.3.2
Арки	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.4, 4.8-4.10, 4.17 пп. 5.1, 6.16 СНиП II-23-81*	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.4, 6.8-6.10, 6.17 пп. 7.1.1, 10.4.1 СП 16.13330	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.4, 7.8-7.10, 7.17 пп. 7.1.1, 10.4.1 СП 16.13330	пп. 9.3.1, 9.3.3, 9.4.1, 9.4.4, 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2, 9.6.3	пп. 6.1.4, 6.1.6, 6.1.7, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2
Стропила	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.8-4.10, 4.17	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.8-6.10, 6.17	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.8-7.10, 7.17	пп. 9.3.1, 9.3.3, 9.4, 9.5.1, 9.5.2	пп. 6.1.4, 6.1.6, 6.1.7, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2, 6.3.3.
Рамы	пп. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.8-4.10, 4.17	пп. 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 6.8-6.10, 6.17	пп. 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 7.8-7.10, 7.17	пп. 9.3.1, 9.3.3, 9.4, 9.5.1, 9.5.2, 9.6.2	пп. 6.1.4, 6.1.6, 6.1.7, 6.2.3, 6.2.4, 6.3.2, 6.3.3

12.6 Литература

[1] Гринь И.М., Фурсов В.В., Бабушкин Д.М., Галушко П.Г., Гринь В.И., Проектирование и расчет деревянных конструкций. Справочник. – К., Будивэльнык, 1988. – 240 с.

13. Программа Кросс

Программа **Кросс** предназначена для вычисления первого коэффициента постели (коэффициент Винклера) по результатам геологических изысканий. В программе реализована методика, разработанная специалистами НИИОСП (описание методики, которое опубликовано в статье «Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит» [2], приведено в Приложении, раздел 17.2.17).[1]

Программа **Кросс** определяет осадки (и через них винклеровский коэффициент постели) с учетом распределительной способности основания. Это позволяет использовать результаты работы программы при определении напряженно-деформированного состояния конструкций (например, с помощью программы **SCAD** [1]) без задания второго (пастернаковского) коэффициента постели.

В результате работы программы **Кросс** подбираются значения коэффициентов постели C_1 (модель винклеровского основания), которые дают такие же осадки, как и при использовании схемы линейно-деформируемого полупространства, т.е. обеспечивается соответствие с моделями, рекомендуемыми СНиП.

13.1 Система координат

Используется правоориентированная декартова система координат (**X**, **Y**, **Z**). Ось **Z** — продольная ось здания или сооружения, направленная из плоскости чертежа на наблюдателя. Ось **Y** принята вертикальной и направленной на чертеже снизу вверх, ось **X** — горизонтальная с положительным направлением вправо.

13.2 Файлы, создаваемые программой

Программа **Кросс** создает, читает и сохраняет результаты в файлах с расширением **.crs**.

13.3 Структура модели и исходные данные

Рассматривается площадка строительства, на которой расположено проектируемое сооружение и другие объекты (строящиеся и существующие здания), влияющие на него в том смысле, что нагрузки на грунт, передаваемые этими объектами, могут привести к осадкам проектируемого фундамента. При этом считается, что пятна проектируемого сооружения и соседних объектов представлены в виде замкнутых многоугольников (возможно, с проемами), каждый из которых передает на грунт нагрузку, приложенную на уровне отметки подошвы фундамента. Кроме того, считается, что известны результаты геологических изысканий, которые представлены в виде информации о характеристиках грунта в пробуренных скважинах. Рельеф дневной поверхности на площадке предполагается достаточно гладким и задается с помощью указания отметок устьев скважин. Другие данные геодезической съемки не используются. Ввод данных выполняется на координатной сетке, шаг которой задается пользователем.

Рекомендуется такая последовательность создания модели:

- задание габаритов площадки строительства;
- ввод параметров координатной сетки;
- ввод внешнего контура фундаментной плиты;
- ввод контуров существующих зданий (если это необходимо);
- задание проемов (если они имеются);
- сглаживания углов (если это необходимо);

[1] Фундамент мелкого заложения — фундамент, имеющий отношение его высоты к ширине подошвы менее четырех и передающий нагрузку на грунты основания преимущественно через подошву (см. МГСН 2.07-01).

- задание нагрузок;
- задание уровней отметки подошв фундаментов;
- задание положения скважин;
- ввод информации о грунтах;
- задание параметров скважин.

Результатом расчета являются значения коэффициента постели (коэффициента Винклера) в любой точке фундаментной плиты.

Методика расчета разработана В.Г. Федоровским. Основные положения этой методики описаны в статье Федоровского В.Г., Безволева С.Г. “Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит” // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2000.– №4.– С. 10–18 [2]. С любезного разрешения авторов текст этой статьи приводится в качестве приложения.

13.4 Многооконная среда

Характерной особенностью программы является возможность одновременного присутствия в рабочем поле нескольких независимых окон, в каждом из которых может находиться другое сечение. Активизация окон выполняется или с помощью закладок, расположенных в левом нижнем углу рабочего поля, или указанием курсора на окно. Управление всеми окнами осуществляется из одной инструментальной панели. Установленные в панели операции выполняются только в текущем активном окне.

Если в меню **Вид** активна опция **Журнал**, то в левом нижнем углу рабочего поля появляются закладки с именами файлов сечений, загруженных в окна рабочей среды. Указание курсором на эту закладку активизирует соответствующее окно.

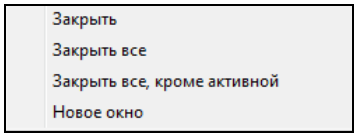


Рис. 13.4-1. *Меню закладок*

Нажатие правой клавиши мыши на закладке приводит к появлению меню (рис. 13.4-1), которое позволяет выполнить следующие действия:

- закрыть соответствующее окно;
- закрыть все окна;
- закрыть все окна, кроме того, которое соответствует закладке;
- создать новое окно.

13.5 Сохранение рабочей среды

Состояние настроек каждого окна (рабочей среды) можно сохранить, что позволит следующий сеанс работы с программой начать с автоматического восстановления настроек предыдущего сеанса. Параметры настройки программы записываются в файл, имя которого задается в диалоговом окне **Сохранить среду** (рис. 13.5-1). Операции работы с файлами настройки рабочей среды сосредоточены в меню **Файл** и включают разделы **Открыть среду**, **Сохранить среду**, **Закрыть среду** и **Сохранить среду под другим именем**.

Операция **Открыть среду** используется для загрузки в окна моделей площадок строительства и настроек, записанных в файл. Имя файла, в котором сохраняются параметры среды, выбирается из списка в диалоговом окне **Открыть среду** (рис. 13.5-2).

Операция **Закрыть среду** служит для удаления с экрана (и только) всех окон с моделями площадок строительства, которые ранее были записаны в файл с параметрами рабочей среды. Если к моменту вызова операции были открыты новые окна или внесены изменения в ранее созданные модели, то появляется окно сообщений, в котором предлагается сохранить изменения. Если дан утвердительный ответ, то все изменения в моделях, ранее записанных в файл среды, будут не только внесены в файлы с моделями, но и в файл с параметрами рабочей среды. Модели площадок строительства в «новых» окнах в файл с параметрами среды записаны не будут. Для их записи следует воспользоваться операцией **Сохранить среду** или **Сохранить среду под другим именем**.

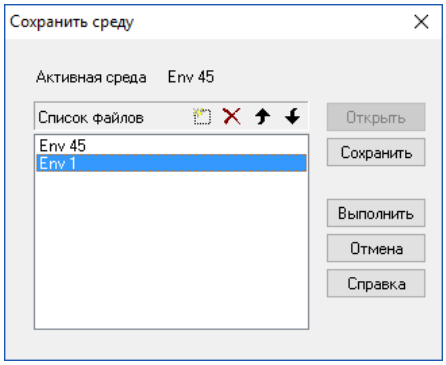


Рис. 13.5-1. *Диалоговое окно* **Сохранить среду**

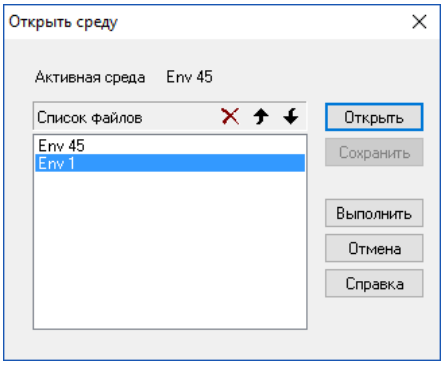


Рис. 13.5-2. *Диалоговое окно* **Открыть среду**

Если рабочая среда не загружалась командой **Открыть среду**, то появляется окно **Сохранить среду**, в котором следует или выбрать уже существующее имя файла, в который будут записаны параметры среды, или задать новое имя, воспользовавшись для этого соответствующей кнопкой. Аналогично используется операция **Сохранить среду под другим именем**.

13.6 Элементы управления

13.6.1 Окно программы

Окно программы **Кросс** (рис. 13.6.1-1) включает меню, инструментальную панель, рабочее поле (с полосами прокрутки при необходимости) и строку состояния.

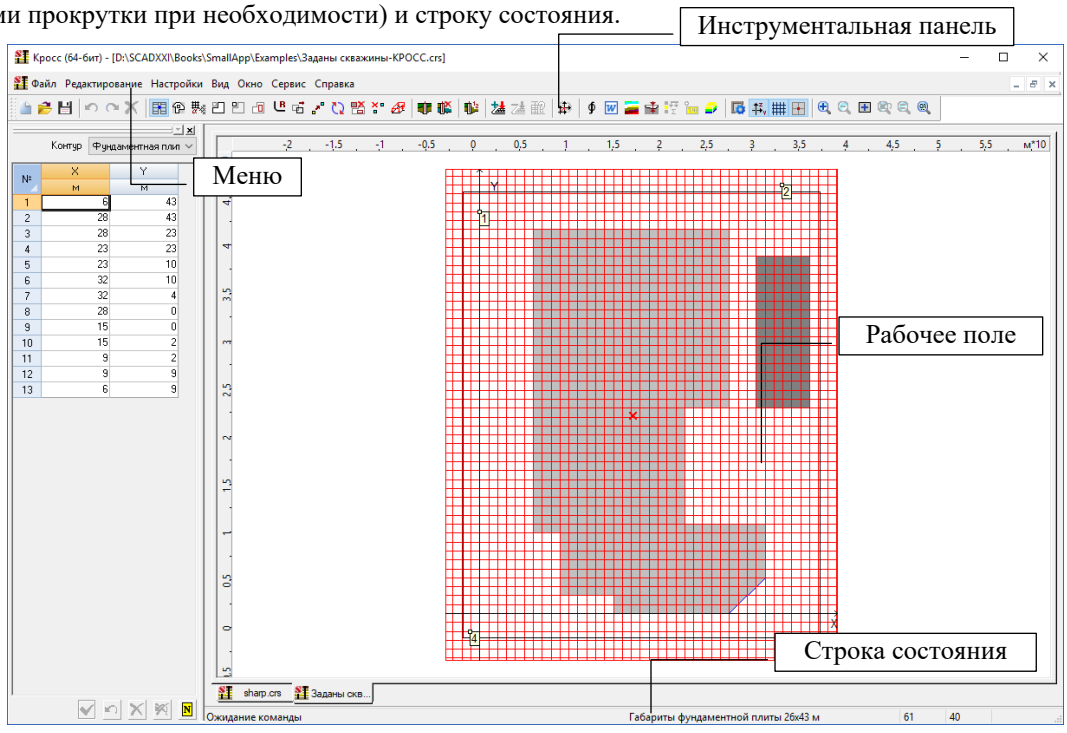


Рис. 13.6.1-1. Общий вид окна программы **Кросс**

13.6.2 Параметры настройки

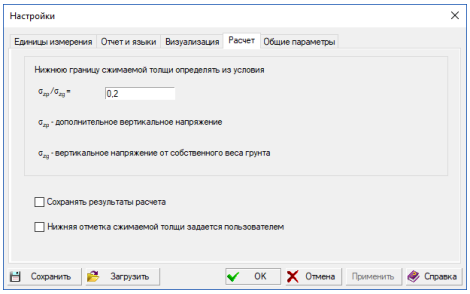


Рис. 13.6.2-1. *Страница* **Расчет** *диалогового окна* **Настройки**

Программа содержит функции настройки, с помощью которых назначаются единицы измерения основных величин и правила формирования отчета. Эти функции сосредоточены в многостраничном диалоговом окне **Настройки**. Окно **Настройки** может быть вызвано из раздела меню **Настройки**, а также из инструментальной панели (кнопка **Настройки** —). Настройка параметров аналогична описанной в разделе 3.2.

Отличие состоит только в наличии страницы **Расчет** (рис. 13.6.2-1), на которой можно установить соотношение σ_{zp}/σ_{zg} между дополнительным вертикальным напряжением (σ_{zp}) и вертикальным напряжением от собственного веса грунта (σ_{zg}), которое будет определять отметку границы сжимаемой толщи. По умолчанию это число равно 0,2, что соответствует требованиям СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений, но допускается задать число в интервале [0,1…0,5] в соответствии с требованием СП 50-101-2004 и СП 22.13330.2011.

Кроме того, на этой странице имеется маркер **Сохранять результаты расчета**. Если этот маркер отмечен, то при сохранении модели будут сохраняться и результаты расчета (если выполнен расчет). Это приводит к резкому увеличению размера файла модели, но позволяет при выходе из программы и последующей загрузке модели не производить заново расчет, а сразу перейти к анализу результатов. Маркер **Нижняя отметка сжимаемой толщи задается пользователем** предназначен для того, чтобы в случаях наличия скального основания расчет сжимаемой толщи производился не до скального основания, а до отметки, задаваемой пользователем.

13.6.3 Меню

Меню расположено в верхней части окна и содержит разделы: **Файл**, **Редактирование**, **Настройки**, **Вид**, **Окно**, **Сервис** и **Справка**.

Раздел **Файл** включает следующий набор операций:

- **Новый** — создание новой площадки (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+N**);
- **Открыть** — загрузка ранее созданной площадки (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+O**);
- **Сохранить** — сохранение на диске текущей площадки (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+S**);
- **Сохранить как…** — сохранение площадки (файла) под новым именем;
- **Импорт ...** — импорт данных о геометрии фундаментной плиты из файлов формата DXF, DWG;
- **Отправить —** отправить файл по электронной почте;
- **Расчет** — вычисление коэффициентов постели;
- **Отчет** — формирование отчета;
- **Поля** — отрисовка изополей коэффициентов постели;
- **Осадка ...** — отрисовка изополей распределения осадок подошвы фундамента;
- **Поле нагрузок** — визуализация изополей нагрузок при неравномерной нагрузке на плиту;
- **Сохранить изображение** — изображение на экране сохраняется в файле в формате метафайла Windows;
- **Открыть среду** — загрузки в окна моделей площадок строительства;
- **Сохранить среду** — запись в файл параметров среды;
- **Сохранить среду под другим именем** — запись в файл, выбранный пользователем, параметров среды;

- **Закрыть среду** — удаления с экрана (и только) всех окон с моделями площадок строительства, которые ранее были записаны в файл с параметрами рабочей среды;

Раздел **Редактирование** включает следующий набор операций:

- **Отменить** — отмена последней выполненной операции;
- **Восстановить** — отмена действия последней команды **Отменить**;
- **Габариты** — задание габаритных размеров площадки, на которой располагается проектируемое сооружение и другие влияющие на него объекты (эта и все последующие операции в данном разделе дублируют соответствующие кнопки инструментальной панели);
- **Фундаментная плита** — ввод и корректировка внешнего контура фундаментной плиты;
- **Существующее здание** — ввод и корректировка внешнего контура здания, расположенного рядом с проектируемым сооружением и влияющего на него;
- **Проем** — ввод контура проема;
- **Удалить** — удаление существующих зданий и/или проемов;
- **Сгладить угол…** — сглаживание выбранного угла дугой окружности заданного радиуса;
- **Переместить** — перемещение вершин контуров фундаментной плиты или существующих зданий;
- **Переместить вершины** — корректировка координат вершин фундаментной плиты или существующих зданий;
- **Удалить вершины** — удаление одной или нескольких вершин;
- **Назначить фундаментную плиту** — назначение пятна существующего здания расчетной фундаментной плитой;
- **Нагрузка и отметка подошвы** — задание нагрузки на фундаментную плиту (или существующее здание) и отметки подошвы;
- **Создать область с дополнительной нагрузкой** — создать область на фундаментной плите с дополнительной нагрузкой;
- **Удалить область с дополнительной нагрузкой** — удаление области с дополнительной нагрузкой;
- **Изменить нагрузку на область** — изменение значения нагрузки в дополнительной области;
- **Добавить точку с дополнительной нагрузкой** — создание точек, в которых определены значения нагрузки;
- **Удалить точку с дополнительной нагрузкой** — удаление дополнительных точек с заданной нагрузкой;
- **Точки с дополнительной нагрузкой** — редактирование координат и величин нагрузки в дополнительных точках;
- **Создать скважину** — добавление скважины;
- **Удалить скважину** — удаление ранее введенной скважины;
- **Параметры скважин …** — вызов диалогового окна, в котором задается информация о грунтах и параметрах скважин;
- **Начало координат …** — перенос начала системы координат;
- **Точка расчета сжимаемой толщи** — задание точки, в которой будет определяться отметка сжимаемой толщи.

Раздел **Настройки** содержит следующие операции:

- **Настройки** — вызов диалогового окна с параметрами настройки;
- **Параметры сетки** — назначение шага координатной сетки;
- **Сетка** — отображение координатной сетки в рабочем поле;
- **Координатные оси** — отображение координатных осей площадки;
- **Дополнительные точки** — создание на изополях точек, для которых должны быть выведены маркеры со значениями коэффициента постели;
- **Вершины** — отображение маркеров вершин контуров;
- **Номера вершин** — отображение номеров вершин;

- **Поля нагрузок** — отображение изополей нагрузок;
- **Нагрузки, полученные из SCAD** — для моделей, импортированных из SCADa, данная опция позволяет увидеть поля импортированных нагрузок;
- **Поля для зданий —** выбор этой опции позволяет увидеть изополя коэффициентов постели не только под фундаментной плитой, но и в области рядом стоящих зданий;
- **Журнал —** установка или снятие опций показа закладок с именами открытых моделей.

Раздел **Вид** содержит следующие операции:

- **Масштаб** — изменение масштаба отображения площадки;
  - **Увеличить** — увеличение изображения;
  - **Уменьшить** — уменьшение увеличенного изображения;
  - **Прямоугольник —** увеличение изображения, попавшего в прямоугольную рамку;
  - **Предыдущий масштаб —** возврат к предыдущему масштабу;
  - **Исходный масштаб —** возврат к исходному масштабу;
- **Панель инструментов —** показать/скрыть панель инструментов;
- **Строка состояния —** показать/скрыть строку состояния;
- **Таблица вершин —** показать/скрыть таблицу с координатами вершин.

Раздел **Окно** содержит операции: **Новое окно**, **Каскадировать**, **Черепица**, **Упорядочить иконки**, которые являются стандартными командами среды Windows для управления отображением окон в многооконном режиме.

Из раздела меню **Сервис** можно вызвать стандартный калькулятор Windows, калькулятор для расчета по формулам, программу преобразования единиц измерения.

Раздел меню **Справка** обеспечивает доступ к справочной информации.

13.6.4 Строка состояния

Строка состояния (рис. 13.6.4-1) включает три поля: **Габариты фундаментной плиты**, координаты текущего положения курсора и **Расстояние**. В первом поле отображаются заданные габариты фундаментной плиты. Во втором поле выводятся координаты курсора. Третье поле используется для вывода расстояния между двумя точками площадки в режиме измерения.

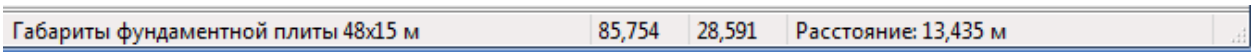


Рис. 13.6.4-1. Строка состояния

13.6.5 Курсоры

Все операции в рабочем поле выполняются с помощью курсора. При перемещении курсора **X** и **Y** по экрану или при выполнении некоторых команд форма курсора меняется. Например, при выборе команды из меню или инструментальной панели он принимает форму стрелки, при обработке команд — форму песочных часов (курсор ожидания), при работе в рабочем поле — форму перекрестья.

С помощью курсора можно определить расстояние между двумя точками площадки. Для этого следует подвести его к первой точке и нажать левую кнопку мыши. Не отпуская кнопки, переместить курсор во вторую точку. В правой части строки состояния будет указано расстояние между точками (точность

указания зависит от установленного количества значащих цифр на странице **Единицы измерения** окна **Настройки**). Координаты текущего положения курсора выводятся в строке состояния.

13.7 Операции

Установка курсора на определенную кнопку на инструментальной панели и нажатие левой кнопки мыши активизирует соответствующую операцию или команду. Здесь и далее для обозначения указанной последовательности действий будет применяться выражение «нажатие кнопки на инструментальной панели».

13.7.1 Новый

Эта операция используется для подготовки новой площадки. В результате ее выполнения появляется новое окно, в котором и формируется площадка.

13.7.2 Открыть

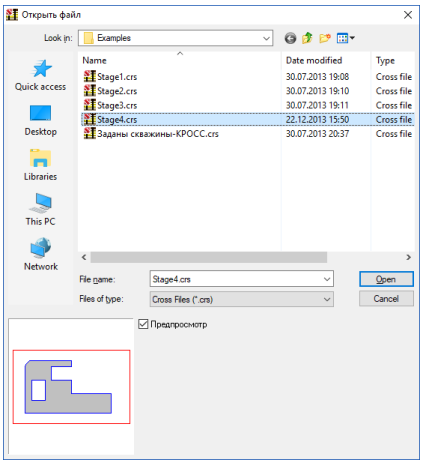


Рис. 13.7.2-1. *Диалоговое окно* **Открыть файл**

С помощью этой операции выполняется загрузка ранее сформированной площадки. После активизации операции появляется стандартное окно среды MS Windows со списком файлов, имеющих расширение .crs (рис. 13.7.2-1). Как и в предыдущем случае, площадка загружается в новое окно.

Для предварительного просмотра содержимого файлов площадок следует активировать маркер **Предпросмотр**.

13.7.3 Сохранить

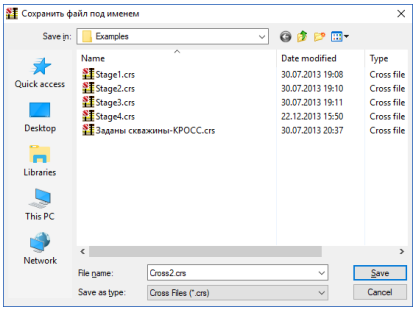


Рис. 13.7.3-1. *Диалоговое окно* **Сохранить файл под именем**

Эта операция предназначена для сохранения данных о площадке в файле. Если площадка еще не сохранялась, то после активизации операции появляется стандартное окно Windows, в котором следует ввести имя файла (рис. 13.7.3-1).

13.7.4 Сохранить как...

Эта операция предназначена для сохранения данных о площадке в файле с новым именем. После активизации операции появляется стандартное окно Windows, в котором следует ввести имя файла (рис. 13.7.3-1).

13.7.5 Импорт

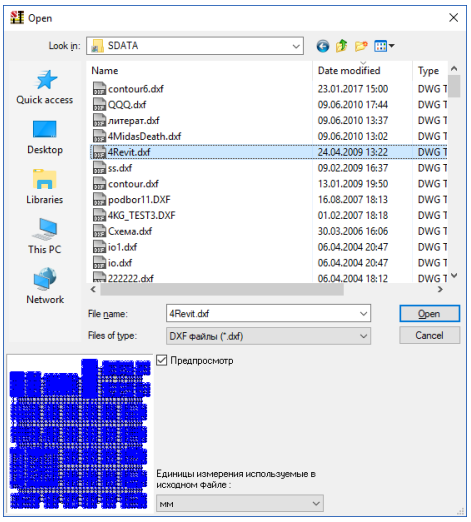


Рис. 13.7.5-1. *Диалоговое окно* **Открыть**

Описание геометрии фундаментной плиты может быть импортировано из системы AutoCAD в форматах DWG- или DXF-файла. Поддерживаются следующие виды графических примитивов:

- 3DFACE
- SOLID
- TRACE
- LINE
- POLYLINE
- LWPOLYLINE
- ELLIPSE
- CIRCLE
- ARC

Режим вызывается из пункта **Импорт** раздела меню **Файл**. В окне со списком файлов (рис. 13.7.5-1) помимо возможности предпросмотра имеется список, в котором нужно выбрать наименование единиц измерения, в которых задавались данные при создании схемы в AutoCAD. Кроме того, имеется возможность импорта данных и из других графических форматов.

Операция **Импорт** позволяет также импортировать данные о геологической структуре (грунты, скважины) из файлов формата geoXML, созданных программой CREDO ГЕОЛОГИЯ. При этом предполагается, что вся информация в таком файле записана с использованием единиц измерения тонны и метры, а все данные о слоях грунта и грунтовых вод заданы интервалами. Если для некоторой скважины имеются данные о нескольких испытаниях, то будут импортированы данные о первом из них. При импорте смежные одинаковые слои грунта объединяются.

13.7.6 Расчет

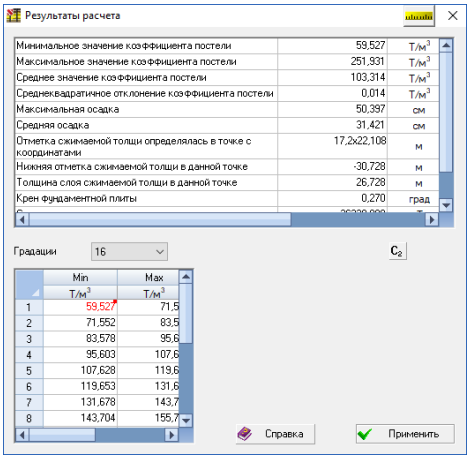


Рис. 13.7.6-1. *Диалоговое окно* **Результаты расчета**

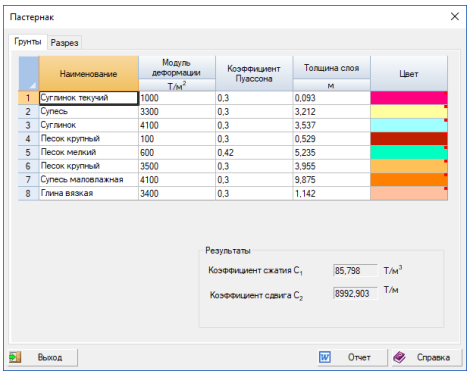


Рис. 13.7.6-2. *Диалоговое окно* **Коэффициент сдвига**

Нажатие этой кнопки активизирует вычисление коэффициентов постели. После завершения расчета появляется диалоговое окно **Результаты расчета** (рис. 13.7.6-1), в котором приводятся максимальное и минимальное значения коэффициента постели, отметка нижней границы сжимаемой толщи и мощность слоя сжимаемой толщи в точке ее определения (если не задано наличие скального основания), среднеквадратичное значение коэффициента постели, среднеквадратичное отклонение коэффициента постели, суммарная нагрузка на фундаментную плиту, максимальная осадка, среднеквадратичное значение осадки и крен фундаментной плиты. Кроме того, в окне можно выбрать количество цветовых диапазонов, которые будут использоваться при отрисовке изополей, а при необходимости — и изменить границы интервалов.

Величина среднеквадратичного отклонения позволяет в каждом конкретном случае принимать решение о том, можно ли использовать среднее значение коэффициента постели или следует задавать различные значения по площади плиты.

Кроме того, приводится объем извлеченного грунта подсчитанного без учета дополнительных земляных работ, необходимых для обеспечения работы оборудования (например, съездов в котлован) и без учета уклона стенок котлована.

В диалоговом окне (рис. 13.7.6-2) имеется кнопка C_2, которая позволяет определить два коэффициента постели (Винклера (C_1) и Пастернака (C_2)). Этот расчет производится в предположении, что грунтовой массив однороден в плане. Расчет проводится на основании модели, описанной в разделе, который посвящен программе **Пастернак**.

При этом данные формируются следующим образом. Вычисляется объем каждого из видов грунтов под фундаментной плитой. Каждый из объемов делится на площадь фундаментной плиты и полученное значение интерпретируется как толщина слоя многослойного основания, однородного по координатам X, Y. В результате расчета получаем усредненное значение второго (Пастернаковского) коэффициента постели. Отметим, что данная модель работы грунта отличается от модели, которая используется в программе **Кросс**, поэтому не следует удивляться, если полученные значения коэффициента Винклера будут значительно отличаться от тех значений, которые вычислены программой **Кросс** даже в случае однородного в плане основания.

13.7.7 Отчет

После активизации этой операции формируется отчет с результатами расчета, описание см. раздел 2.5 **Формирование отчета**.

13.7.8 Поля

Операция используется для построения изополей коэффициентов постели (рис. 13.7.8-1).

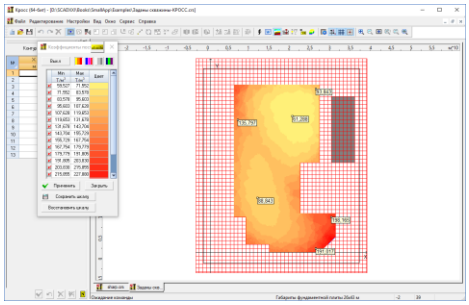


Рис. 13.7.8-1. *Фундаментная плита с изополями коэффициентов постели*

Элементы управления цветовой шкалой расположены в диалоговом окне **Коэффициенты постели** (рис. 13.7.8-2). Они позволяют управлять отображением в зависимости от характера результатов и технических возможностей компьютера. Каждому диапазону результатов, а значит и цвету, соответствует маркер. Если он включен, то на модели будут отображены результаты, входящие в этот диапазон. Отключив маркеры, можно отказаться от цветового отображения части результатов, имеющих несущественные значения анализируемого фактора.

Для того чтобы отобразить на экране результаты настройки цветовой шкалы, используется кнопка **Применить**, установленная в нижней части диалогового окна.

Ряд верхних кнопок служит для смены цветовой гаммы шкалы. Изменение гаммы на экране происходит после нажатия кнопки **Применить**.

Для одновременного отключения или включения всех маркеров цветовой шкалы используется кнопка **Вкл./Выкл**. Этой кнопкой удобно пользоваться в тех случаях, когда из всего диапазона выбирается только несколько значений. Тогда первой операцией будет отключение всей шкалы, а затем включение кнопок с интересующими значениями и нажатие кнопки **Применить**.

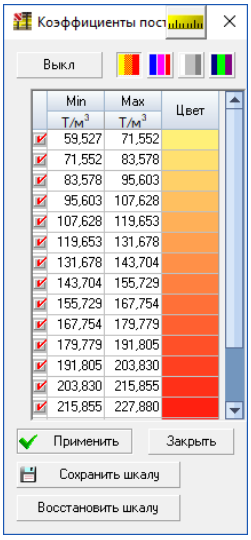


Рис. 13.7.8-2. **Коэффициенты постели**

Диалоговое окно с цветовой шкалой может занимать любое место на экране, может быть закрыто (кнопка **Закрыть**) или вынесено за пределы рабочего поля (если окно программы занимает не все пространство экрана).

Для изменения количества цветовых диапазонов, которые будут использоваться при отрисовке изополей, или изменения границы интервалов следует установить курсор в область фундаментной плиты и нажать правую кнопку мыши. При этом появляется диалоговое окно **Коэффициенты постели** (рис. 13.7.8-2).

Предлагаемые цветовые решения шкал не являются обязательными. Можно заменить любой цвет в шкале или даже всю шкалу и запомнить сделанные изменения для всех последующих сеансов работы. Для этого надо подвести курсор к цветовому квадрату с заменяемым цветом и дважды нажать **левую** кнопку мыши. При этом открывается стандартная цветовая шкала среды Windows. После выбора цвета нажать кнопку **ОК**. Новый цвет попадет в цветовую шкалу. Для того чтобы запомнить новую цветовую гамму, используется кнопка **Сохранить шкалу**. После этой операции новая гамма цветов будет всегда выводиться вместо ранее выбранной.

Отметим, что при перемещении курсора в пределах области фундаментной плиты в строке состояния выводится

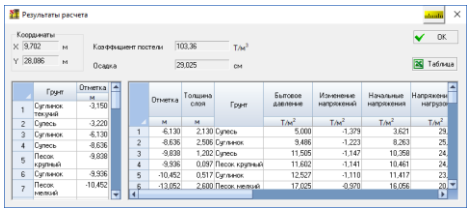


Рис. 13.7.8-3. *Окно с результатами расчета в конкретной точке*

значение коэффициента постели в точке, соответствующей положению курсора (рис.13.7.8-1).

Если нажать левую кнопку мыши, на экране появится окно **Результаты расчета** (рис. 13.7.8-3) для точки, на которую указывает курсор. В данном окне приводятся координаты точки, таблица со структурой грунтового массива, коэффициент постели и осадка подошвы плиты. Информация об осадке приводится в предположении нулевой жесткости фундаментной плиты.

13.7.9 Дополнительные точки

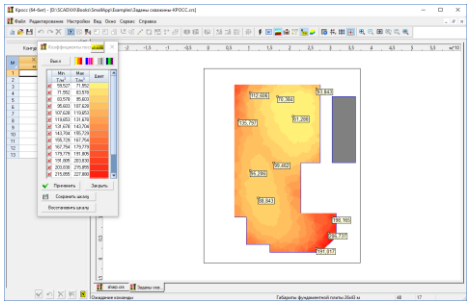


Рис. 13.7.9-1. *Изополя с дополнительными маркерами*

Если выбрана кнопка **Дополнительные точки**, то при нажатии левой кнопки мыши вместо окна с результатами (рис. 13.7.8-3) на изополях в указанных курсором точках будут появляться значения коэффициента постели (рис. 13.7.9-1). Если нажать правую кнопку мыши, появляется меню, которое дает возможность проделать одну из двух операций на выбор: убрать дополнительные точки или активировать диалоговое окно для изменения параметров цветовой шкалы.

13.7.10 Осадки подошвы плиты

В этом режиме выводятся изополя распределения осадок подошвы фундамента. Правила вывода такие же, как и при выводе изополей коэффициентов постели.

13.7.11 Сохранить изображение

Эта операция позволяет сохранить изображение на экране в формате метафайла Windows (.wmf), который может быть использован в дальнейшем при создании отчетного документа. После нажатия кнопки появляется стандартное окно MS Windows, в котором задается имя файла.

13.7.12 Отмена

Нажатие на кнопку **Отменить** вызывает отмену предыдущей операции. Максимальная глубина истории не ограничена.

13.7.13 Восстановить

Нажатие на кнопку **Восстановить** вызывает отмену действия последней команды **Отмена**.

13.7.14 Габариты

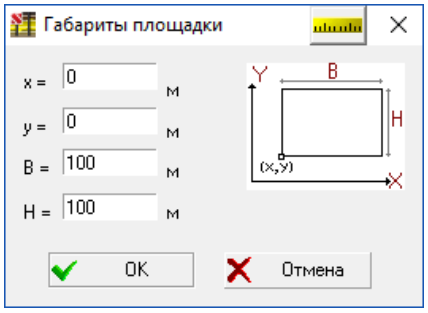


Рис. 13.7.14-1. *Диалоговое окно* **Габариты площадки**

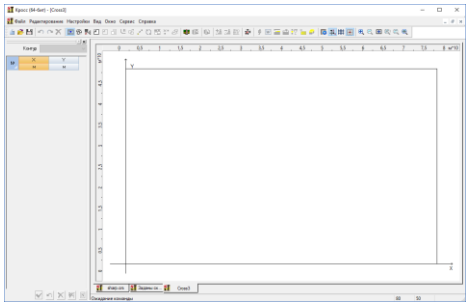


Рис. 13.7.14-2. *Отображение габаритов площадки в рабочем поле*

Ввод фундаментной плиты выполняется на координатной сетке, габариты которой ограничены размерами площадки. Задание размеров площадки и ее привязка выполняется в диалоговом окне **Габариты площадки** (рис. 13.7.14-1) в единицах измерения, указанных на странице **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки**.

После выхода из указанного диалогового окна в рабочем поле отображается прямоугольник, ограничивающий габариты площадки (рис. 13.7.14-2).

13.7.15 Фундаментная плита

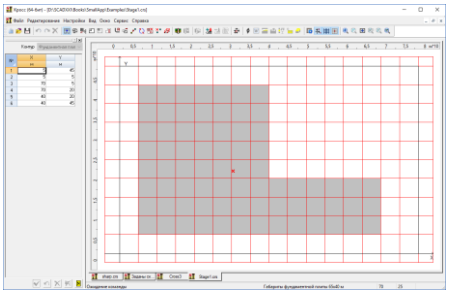


Рис. 13.7.15-1. *Отображение фундаментной плиты в рабочем поле*

Ввод внешнего контура фундаментной плиты выполняется путем последовательного указания курсором точек перелома полигона, ограничивающего контур. Каждая точка перелома фиксируется нажатием левой кнопки мыши. Замыкание контура выполняется двойным нажатием левой кнопки мыши. При этом последняя точка перелома соединяется с первой, и на экране отображается очертание плиты (рис. 13.7.15-1).

Положение точек перелома может быть произвольным или привязанным к ближайшему узлу сетки. Настройка вида привязки выполняется в меню **Настройки**. При отсутствии привязки во втором поле строки состояния выводятся текущие координаты курсора. Если активна операция **Привязка к сетке**, то в поле строки состояния выводятся координаты ближайшего к курсору узла сетки.

13.7.16 Корректировка контура плиты

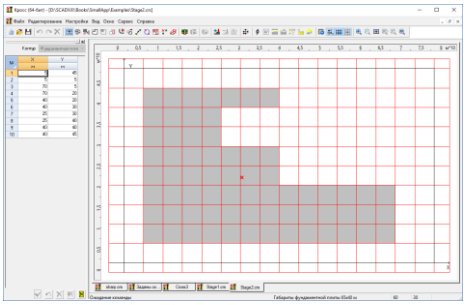


Рис. 13.7.16-1. *Плита после корректировки внешнего контура*

Если плита уже задана, то повторное нажатие на кнопку **Фундаментная плита** в инструментальной панели активизирует режим корректировки ее внешнего контура. Для этого необходимо подвести курсор к любой точке на контуре, после смены вида курсора (перекрестье для произвольной точки или перекрестье с мишенью для точки перелома) нажать левую кнопку мыши и «перетянуть» выбранную точку в новое положение. Фиксация новой точки перелома выполняется двойным нажатием левой кнопки мыши. На рис. 13.7.16-1 показана плита после корректировки внешнего контура.

При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход проемов за границы внешнего контура.

13.7.17 Существующее здание

Операция позволяет ввести контур существующего здания (зданий). Порядок действий в этом случае полностью аналогичен действиям, выполняемым при создании контура фундаментной плиты.

13.7.18 Проем

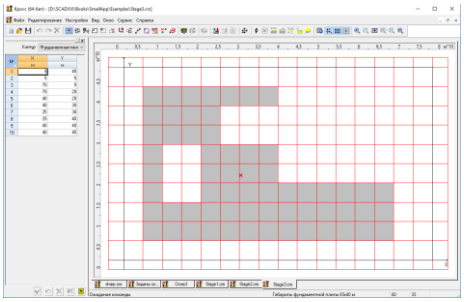


Рис. 13.7.18-1. *Пример фундаментной плиты с проемами*

Операция предназначена для ввода проемов в фундаментной плите или существующих зданиях. Проемы задаются в виде замкнутого многоугольника. Порядок действий при вводе и корректировке проема аналогичен вводу и корректировке внешнего контура фундаментной плиты.

На рисунке 13.7.18-1 приведен пример фундаментной плиты с проемами.

При вводе многоугольных проемов не допускается их пересечение с внешним контуром фундаментной плиты и другими проемами.

13.7.19 Назначить фундаментную плиту

В некоторых ситуациях производится одновременное проектирование нескольких рядом стоящих зданий (например, некоторого квартала). При этом возможна ситуация, при которой неизвестно, какое из зданий будет строиться первым. Соответственно, при построении модели неясно, какое из зданий следует рассматривать (в терминах программы **Кросс**) как фундаментную плиту, а какое — существующим зданием. Данная операция позволяет «переназначить» фундаментную плиту, то есть, если активизировать операцию и указать курсором существующее здание, можно указанное существующее здание назначить новой фундаментной плитой, а «предыдущая» фундаментная плита при этом станет существующим зданием.

13.7.20 Удалить

Операция позволяет удалить проем (в фундаментной плите или существующем здании) или само существующее здание. Для ее выполнения следует указать курсором на соответствующий объект и нажать левую кнопку мыши.

13.7.21 Сгладить угол

Рис. 13.7.21-1. *Диалоговое окно* **Радиус**

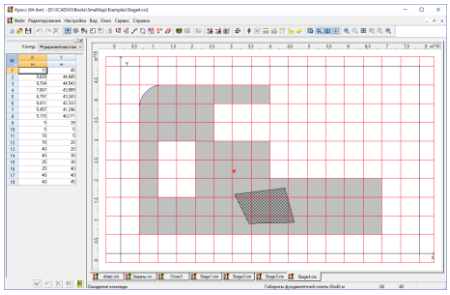


Рис. 13.7.21-2. *Пример плиты со скруглением*

Сглаживание углов выполняется путем вписывания в угол дуги окружности заданного радиуса. После активизации операции следует указать курсором на точку перелома контура (внешнего или контура проема) и после смены типа курсора на перекрестье с мишенью нажать левую кнопку мыши. В появившемся диалоговом окне **Радиус** (рис. 13.7.21-1) задать радиус и нажать кнопку **ОК**. На рисунке 13.7.21-2 показана фундаментная плита со сглаженным углом.

13.7.22 Переместить

Эта операция используется для переноса контура в новое положение. Перенос может выполняться как для всего здания целиком, так и для выбранного проема. Вид переносимого объекта назначается в меню, которое появляется после активизации операции. Перенос (сдвиг) всего здания возможен только в рамках заданного габарита. Таким образом, если здание занимает весь габарит, то перед выполнением этой операции следует изменить габаритные размеры. Для выполнения операции следует:

- активизировать операцию и выбрать в меню вид перемещаемого контура;
- установить курсор внутрь перемещаемого контура и нажать левую кнопку мыши;
- после смены вида курсора переместить контур в новое положение;
- зафиксировать новое положение нажатием на левую кнопку мыши.

13.7.23 Переместить вершины

С помощью этой операции выполняется перемещение вершины или группы вершин, выбранных с помощью курсора, прямоугольной или полигональной рамки. Для ее выполнения следует:

- активизировать операцию и выбрать способ указания вершин;
- если переносится одна вершина, то захватить ее курсором и нажать левую кнопку мыши;
- переместить вершину в новое положение и зафиксировать ее положение нажатием левой кнопки мыши;
- если переносится группа вершин, то охватить полигоном или рамкой перемещаемые вершины;
- переместить курсор внутрь рамки (полигона) и после смены вида курсора сдвинуть рамку вместе с захваченными ею вершинами в новое положение;
- зафиксировать новое положение вершин нажатием левой кнопки мыши.

При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход полигональных проемов за границы внешнего контура плиты.

13.7.24 Таблица вершин

Эта операция предназначена для корректировки координат вершин в табличной форме. Для ее активизации используется кнопка **Таблица вершин**, нажатие которой приводит к появлению таблицы (рис. 13.7.24-1) слева от рабочего поля. Окно включает список контуров в порядке их создания и таблицу с координатами вершин выбранного из списка контура.

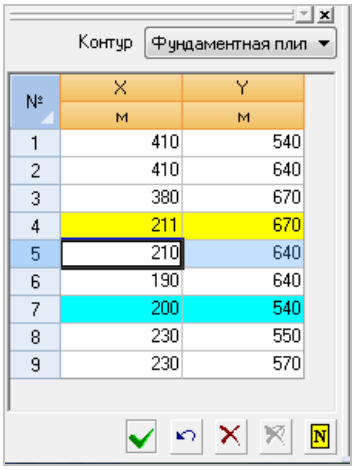


Рис. 13.7.24-1. *Таблица вершин*

Для корректировки положения вершин следует выполнить следующие действия:

- выбрать из списка контур;
- нажать кнопку отображения номеров вершин ;
- изменить координаты вершины в таблице координат;
- нажать кнопку **Применить изменения** .

В этом окне находятся также кнопка отмены последней выполненной операции , кнопка маркировки удаляемых вершин и кнопка для снятия маркировки удаления вершин .

Для удаления вершин следует отметить в таблице соответствующие строки и нажать кнопку **Удаление вершин**. Все удаляемые вершины будут выделены в сечении и удалены после нажатия кнопки **Применить изменения**.

При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход полигональных проемов за границы внешнего контура плиты.

13.7.25 Удалить вершины

С помощью этой операции выполняется удаление одной или группы выбранных вершин. Для этого следует:

- активизировать операцию;
- захватить прямоугольной (или полигональной) рамкой удаляемые вершины;
- нажать левую кнопку мыши.

13.7.26 Нагрузка и отметка подошвы

С помощью этой операции задается нагрузка, приложенная на уровне отметки подошвы фундамента, а также значение отметки уровня подошвы. Для ее выполнения следует:

- активизировать функцию;
- указать курсором, на какой объект (фундаментная плита или рядом стоящее здание) следует приложить эту нагрузку, и нажать левую кнопку мыши;

↳ в появившемся диалоговом окне **Нагрузка** задать величину нагрузки и отметку подошвы (рис. 13.7.26-1).

Просадки грунтового основания *W* (рис. 13.7.26-2) зависят от приложенной нагрузки *P* нелинейно, поэтому коэффициент постели, вообще говоря, не является величиной постоянной.

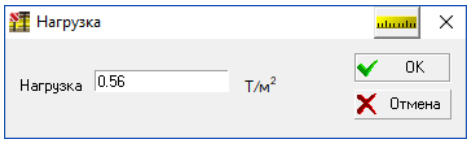


Рис. 13.7.26-1. *Диалоговое окно* **Нагрузка**

В практике проектирования обычно заменяют нелинейную зависимость OBA линейной OB (расчет по «секущему модулю»). Тангенс угла наклона этого линейного графика как раз и характеризует коэффициент постели.

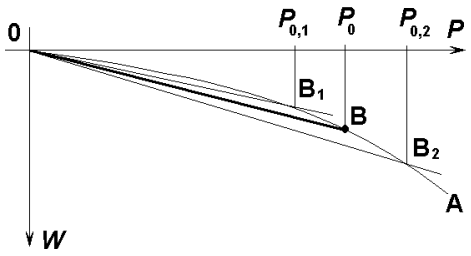


Рис. 13.7.26-2.

Поэтому в качестве задаваемой нагрузки P_0 следует принимать наиболее вероятное ожидаемое значение (например, нагрузку от собственного веса плюс длительные нагрузки и длительную часть кратковременных нагрузок). Фактически сооружение работает и при других нагрузках, но если принята во внимание основная часть нагрузки, то малые изменения в диапазоне от $P_{0,1}$ до $P_{0,2}$ скажутся на значении коэффициента постели незначительно (наклон прямых OB_1 и OB_2 мало отличается от наклона прямой OB).

13.7.27 Создать область с дополнительной нагрузкой

Неравномерная нагрузка на фундаментную плиту моделируется введением области или точки с дополнительной нагрузкой. После активизации этой операции с помощью курсора вводится многоугольная область нагрузки произвольной формы. Завершение ввода области выполняется двойным щелчком кнопки мыши, после чего появляется диалоговое окно **Нагрузка**, где задается величина нагрузки.

Области с дополнительной нагрузкой можно создать, вызвав эту операцию через меню программы. Введенная величина нагрузки будет добавлена к величине равномерной нагрузки на плиту, которая ранее была определена с помощью операции **Нагрузка**.

Замечание. Если на фундаментную плиту задана неравномерная нагрузка и отсутствует скальное основание, то определение нижней отметки сжимаемой толщи производится на основании средней нагрузки на фундаментную плиту.

13.7.28 Удалить область с дополнительной нагрузкой

Для удаления области с дополнительной нагрузкой следует активизировать операцию **Удалить область с дополнительной нагрузкой**, указать курсором на область, которую следует удалить, и щелкнуть левой кнопкой мыши.

13.7.29 Изменить нагрузку на область

Нагрузка на область может быть изменена. Для этого следует активизировать операцию, курсором указать на соответствующую область, нажать левую кнопку мыши, и в появившемся диалоговом окне задать новое значение нагрузки.

13.7.30 Добавить точку с дополнительной нагрузкой

В тех случаях, когда нагрузка внутри некоторой выпуклой области меняется по линейному закону, можно ввести точки, ограничивающие эту область действия нагрузки. Значение нагрузки в точках внутри области вычисляется путем линейной интерполяции значений нагрузки во введенных точках и добавляется к ранее заданной нагрузке. Ввод этих точек (их должно быть не менее трех) осуществляется с помощью операции **Добавить точку с дополнительной нагрузкой**, которая вызывается из меню **Редактирование**. После ввода каждой точки запрашивается значение нагрузки в ней.

Отметим, что значение нагрузки в дополнительных точках задается в *единицах давления* — то есть не следует путать эти точки с точками приложения сосредоточенных сил.

13.7.31 Удалить точку с дополнительной нагрузкой

Удалить точки с дополнительной нагрузкой можно с помощью соответствующей операции, которая вызывается из меню **Редактирование**.

13.7.32 Точки с дополнительной нагрузкой

Функция **Точки с дополнительной нагрузкой** позволяет в табличной форме ввести изменения в величины нагрузок или координаты точек.

13.7.33 Поле нагрузок

Для контроля правильности задания данных о нагрузках на плиту можно использовать операцию **Поле нагрузок** и получить изображение изополей нагрузок.

13.7.34 Создать скважину

Этой операцией назначается место расположения скважины на площадке строительства. Для ввода очередной скважины следует указать курсором ее положение и зафиксировать его нажатием левой кнопки мыши. При этом в рабочем поле появится метка с номером этой скважины (или ее именем, если последнее было задано). Если активна операция привязки к узлам координатной сетки, то скважины будут устанавливаться в узлах сетки, ближайших к положению курсора. Изменить (уточнить) координаты скважины можно в режиме задания параметров скважин.

13.7.35 Удалить скважину

Для удаления скважины следует указать на нее курсором и нажать левую кнопку мыши.

13.7.36 Параметры скважин

При выборе этой операции появляется диалоговое окно **Параметры скважин** (рис. 13.7.36-1), в котором для каждой скважины необходимо задать:

- координаты скважины (фактически они заданы при ее установке, но могут быть откорректированы в этом окне);
- название (имя) скважины;
- информацию о грунтах;
- отметки уровней грунтов (верхних) для каждой скважины.

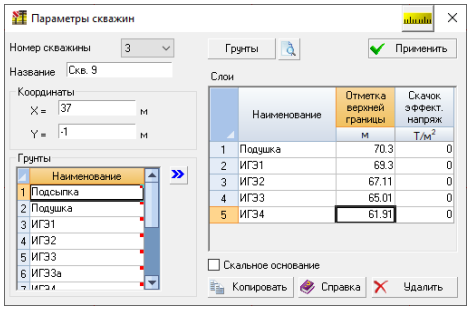


Рис. 13.7.36-1. *Диалоговое окно* **Параметры скважин**

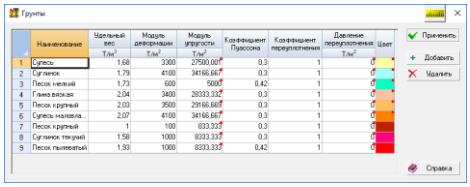


Рис. 13.7.36-2. *Диалоговое окно* **Грунты**

Если ниже слоев грунта находится скальное основание, то следует активировать соответствующий маркер. При этом вычисление осадок по глубине будет ограничено отметкой последнего слоя грунта, имя которого в таблице заменяется на «скала». В противном случае программа сама определит глубину сжимаемой толщи грунта исходя из предположения, что последний слой имеет неограниченную глубину.

Заданию параметров скважин должно предшествовать описание характеристик всех грунтов. Эти характеристики задаются в диалоговом окне **Грунты** (рис. 13.7.36-2). Перед вводом параметров каждого грунта следует нажать кнопку **Добавить**. В новой строке таблицы грунтов следует задать:

- наименование грунта;
- удельный вес (с учетом взвешивания);
- модуль деформации;
- модуль упругости (если этот параметр задан равным нулю, то он будет вычислен автоматически как D/0,12, где D — модуль деформации);
- коэффициент Пуассона;
- коэффициент переуплотнения;
- давление переуплотнения.

В последнем столбце можно назначить цвет, которым данный грунт будет изображаться при построении разрезов.

Следует отметить, что когда в грунтовой толще располагается уровень грунтовых вод, то грунт одного и того же типа, но сухой или водонасыщенный, следует относить к различным слоям. Здесь следует учитывать уменьшение удельного веса водонасыщенногго грунта за счет взвешивающего действия воды на минеральные частицы:

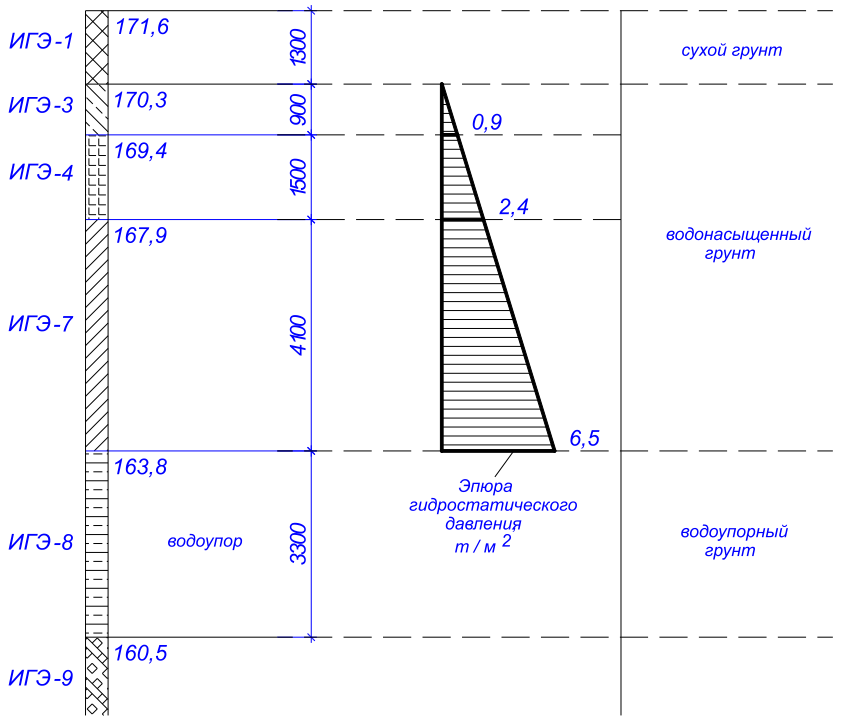
$$\gamma_{sb}=(\gamma_s-\gamma_w)/(1+e)$$

где γ_{sb} — удельный вес грунта во взвешенном состоянии, γ_s — удельный вес частиц грунта, $\gamma_w=10$ кН/м^3 — удельный вес воды, e — коэффициент пористости грунта.

Если на некоторой глубине ниже уровня водонасыщенных грунтов залегает водоупорный слой, то на его верхнюю границу действует вес столба воды, и здесь возникает скачок эффективного напряжения (положительный) равный гидростатическому давлению на этой отметке.

В тех случаях, когда под водоупорным слоем располагаются водонасыщенные слои и при этом грунтовые воды под и над водоупором соединяются где-то за границами скважины (выклинивание водоупора), на нижней границе водоупорного слоя возникает **отрицательный** скачок эффективного давления, величина которого соответствует гидростатическому давлению на глубине нижней границы водоупора. Этот скачок отсутствует, когда имеется два независимых горизонта грунтовых вод (над и под водоупором).

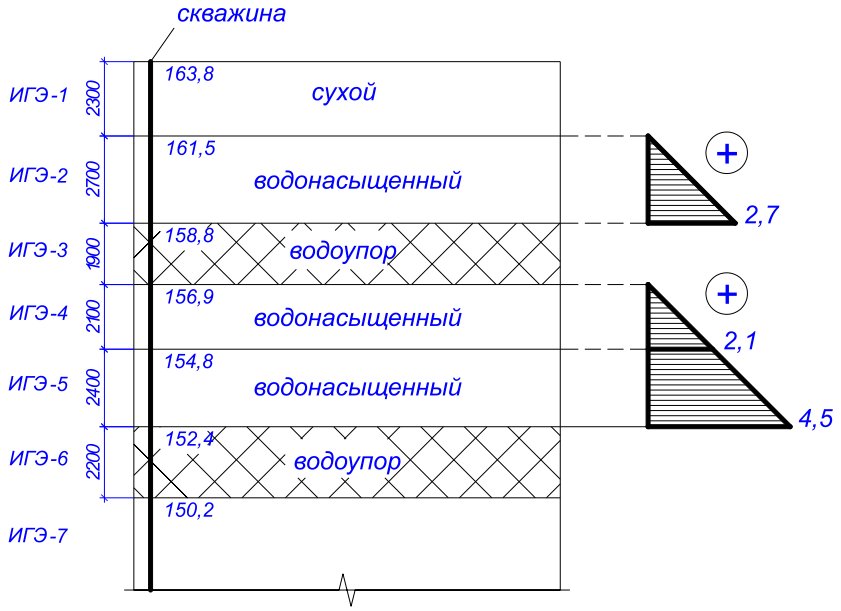
Проиллюстрируем сказанное несколькими примерами, приведенными ниже.



Слои

	Наименование	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж, Т/м^2
1	ИГЭ-1	171,6	0
2	ИГЭ-3	170,3	0
3	ИГЭ-4	169,4	0
4	ИГЭ-7	167,9	0
5	ИГЭ-8	163,8	6,5
6	ИГЭ-9	160,5	0

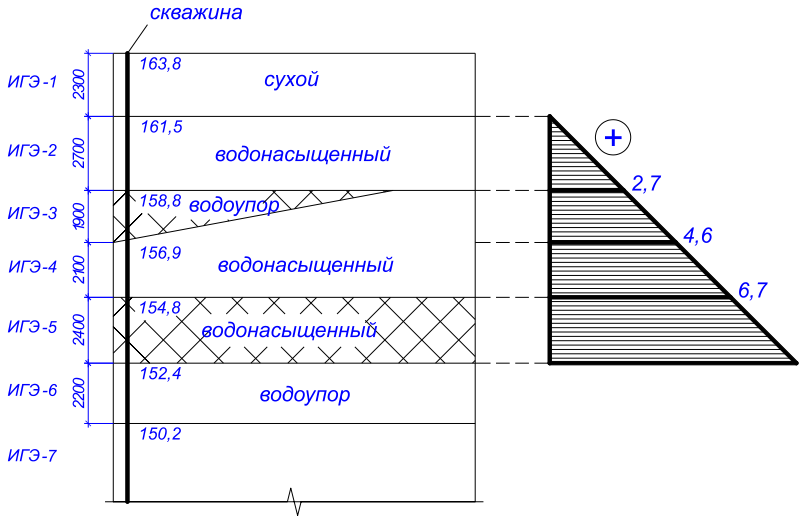
Задание скачка эффективного напряжения



Слои

	Наименование	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж, Т/м^2
1	ИГЭ-1	163,8	0
2	ИГЭ-2	161,5	0
3	ИГЭ-3	158,8	2,7
4	ИГЭ-4	156,9	0
5	ИГЭ-5	154,8	0
6	ИГЭ-6	152,4	4,5
7	ИГЭ-7	150,2	0

Два независимых горизонта грунтовых вод (над и под водоупором)



Слои

	Наименование	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж, Т/м^2
1	ИГЭ-1	163,8	0
2	ИГЭ-2	161,5	0
3	ИГЭ-3	158,8	2,7
4	ИГЭ-4	156,9	-4,6
5	ИГЭ-5	154,8	0
6	ИГЭ-6	152,4	9,1
7	ИГЭ-7	150,2	0

Грунтовые воды под и над водоупором соединяются за границами скважины (выклинивание водоупора)

Одним из основных параметров, описывающих поведение грунта, является величина структурной прочности p_c. Величина p_c может быть представлена в виде

$$p_c = R\sigma + \Delta p_c ,$$

где R — коэффициент переуплотнения (связанный с возрастом грунтового массива), Δp_c — давление переуплотнения (связанное с максимальными давлениями, действовавшими на грунт в течение истории его формирования), σ — природное давление. Коэффициент переуплотнения и давление переуплотнения постоянны и могут считаться параметрами грунта.

При отсутствии данных натурных испытаний о величинах R и Δp_c рекомендуется использовать значение коэффициента переуплотнения 1,0, а величину давления переуплотнения принимать равной:

5 т/м^2 — для глинистых грунтов;

2,5 т/м^2 — для супеси;

0 т/м^2 — для песков.

Если какой-либо из грунтов нужно удалить, следует отметить курсором соответствующую строку и нажать кнопку **Удалить**.

После завершения ввода характеристик грунта по нажатию кнопки **Применить** окно **Грунты** закрывается и управление вновь передается окну **Параметры скважин**.

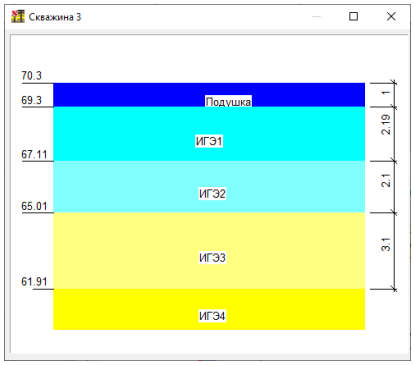
Чтобы описать последовательность слоев в скважине, следует выполнить следующие операции:

- из списка **Номер скважины** выбрать номер очередной скважины;
- отметить в таблице **Грунты** (рис. 13.7.36-1) строку с характеристиками грунта слоя и нажатием кнопки >> перенести ее в таблицу **Слои**;
- задать параметры слоя (грунт одного типа может повторяться в нескольких разных слоях).

Характеристики слоя включают: отметку уровня слоя и (если это необходимо) скачок эффективного напряжения, который может быть обусловлен, например, водонасыщенностью слоя. Отметим, что отметки уровня могут быть заданы относительно любой базы (например, скального основания или дневной поверхности).

Ввод параметров скважин можно облегчить, если ввести только одну скважину и задать ей параметры, после чего выполнить ввод остальных скважин. Их параметры по умолчанию получат значения параметров первой скважины, и их достаточно будет откорректировать. Кроме того, нажатие кнопки **Копировать** приводит к появлению диалогового окна **Копировать скважину**, в котором можно выбрать «скважину-аналог» и скопировать из нее отметки слоев.

Кнопка **Предварительный просмотр** позволяет получить изображения структуры грунтового массива для выбранной скважины:



13.7.37 Точка расчета сжимаемой толщи

Если для рассчитываемой модели не задано скальное основание, то вычисление нижней отметки сжимаемой толщи производится по точке, расположенной в центре плиты. Через меню **Редактирование** можно вызвать операцию **Точка расчета сжимаемой толщи** и с помощью курсора указать другое положение точки (отмечается на схеме крестом красного цвета) .

Если фундаментная плита имеет форму, приближенную к прямоугольнику, то рекомендуется точку расчета сжимаемой толщи размещать на середине отрезка, соединяющего одну из «вершин прямоугольника» с точкой пересечения «диагоналей».

13.7.38 Сброс операции

После нажатия этой кнопки сбрасывается активная операция и появляется возможность использовать функции измерения расстояний, построения разреза и т.п.

13.7.39 Разрез

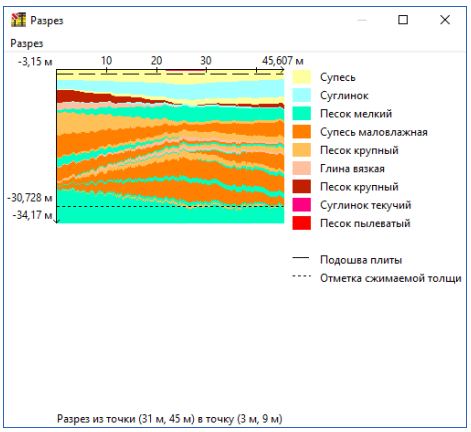


Рис. 13.7.39-1. *Окно с изображением разреза*

Для контроля заданных параметров скважин можно воспользоваться режимом построения геологических разрезов (рис. 13.7.39-1). Разрез выдается вдоль отрезка прямой, проведенной в любом месте площадки. Для построения разреза следует:

- воспользоваться кнопкой **Сброс** и отключить активную операцию;
- установить курсор в точку начала отрезка;
- нажать одновременно клавишу **Ctrl** и левую кнопку мыши;
- не отпуская нажатые кнопки, протянуть мышь в точку конца отрезка.

В появившемся окне будет показан геологический разрез в заданном направлении. Штриховой линией на разрезе будет показано положение подошвы плиты, а пунктирной — граница сжимаемой толщи грунта.

При этом линия границы будет видна только в том случае, если она проходит не глубже 10 метров от верхней границы последнего слоя грунта.

Изображение разреза можно сохранить в формате метафайла MS Windows (пункт меню **Сохранить**).

При построении разреза используется следующий алгоритм:

Строится выпуклая оболочка всех точек, в которых заданы скважины. Производится триангуляция этой выпуклой оболочки. Далее, для каждой точки в пределах площадки строительства возможны три варианта:

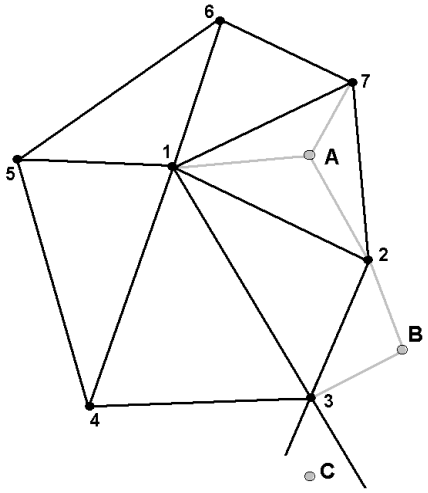


Рис. 13.7.39-2.

A точка лежит внутри одного из треугольников (пример — точка **A** на рис. 13.7.39-2);

B точка лежит вне выпуклой оболочки, и расстояние от этой точки до выпуклой оболочки определяется длиной перпендикуляра, опущенного на ближайшую сторону выпуклой оболочки (пример — точка **B** на рис. 13.7.39-2);

C точка лежит вне выпуклой оболочки, и расстояние от этой точки до ближайшей стороны выпуклой оболочки совпадает с расстоянием до одной из вершин (пример — точка **C** на рис. 13.7.39-2);

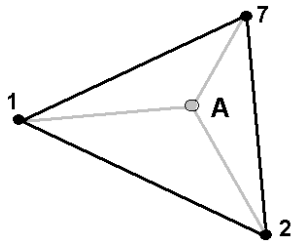


Рис. 13.7.39-3.

В случае A толщина каждого слоя грунта принимается по линейной интерполяции между вершинами треугольника пропорционально площадям треугольников, противолежащих соответствующим вершинам (рис. 13.7.39-3).

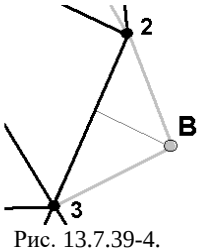


Рис. 13.7.39-4.

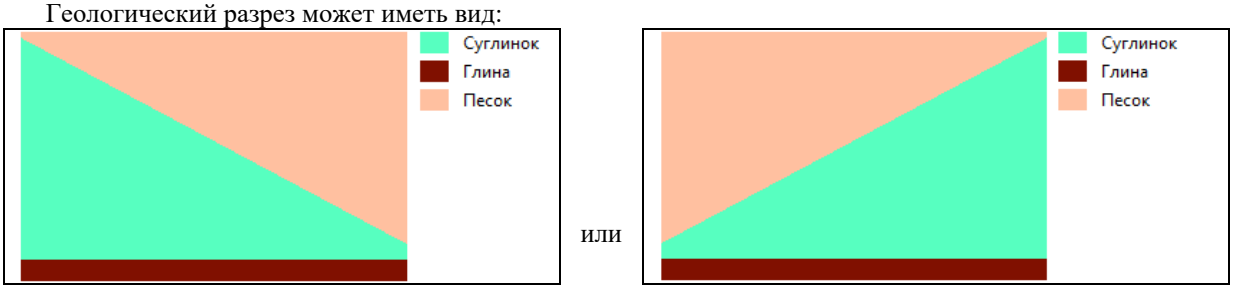
В случае B толщина каждого слоя грунта принимается по линейной интерполяции длин отрезков, на которые разбивается сторона перпендикуляром, опущенным из точки **B** (рис. 13.7.39-4).

В случае C считается, что структура грунтового массива в данной точке совпадает со структурой в ближайшей скважине (на рис. 13.7.39-2 — скважина 3).

Отметим, что однозначно восстановить структуру грунтового массива по информации о структуре скважин невозможно. Это видно из следующего простого примера. Предположим, что имеются две скважины со следующей структурой:

Скважина 1		Скважина 2	
Грунт	**Отметка верхней границы**	**Грунт**	**Отметка верхней границы**
Суглинок	0	Песок	0
Глина	-10	Суглинок	-10

Геологический разрез может иметь вид:



Неоднозначность подобного рода может быть устранена, если в каждой скважине задавать единый пакет грунтов. То есть в каждой скважине набор грунтов и их последовательность одна и та же (отличаются только отметки верхней границы), а отсутствие какого-либо грунта (например, *i*-го) в некоторой скважине задается посредством одинаковой отметки уровня *i*-го и (*i*+1)-го грунтов. Для приведенного выше примера структура скважин должна быть описана следующим образом (если предполагать, что правильным является вторая картина геологического разреза).

Скважина 1		Скважина 2	
Грунт	**Отметка верхней границы**	**Грунт**	**Отметка верхней границы**
Песок	0	Песок	0
Суглинок	0	Суглинок	-10
Глина	-10	Глина	-10

13.7.40 Объемное отображение грунтового массива

Для объемного отображения грунтового массива следует нажать одноименную кнопку — в инструментальной панели. При этом появляется окно **3D** (рис. 13.7.40-1), которое включает три масштабируемых поля:

- таблица видов грунтов;
- окно фрагментации;
- окно трехмерного отображения грунтового массива.

В программе предусмотрены следующие виды отображения трехмерной модели:

с *изолированными слоями*, где каждый слой «не имеет толщины» и представлен поверхностью, образованной его верхними отметками (этот режим принят по умолчанию);

с *объемными слоями* — , где каждый слой образует сплошной массив между верхними отметками текущего и следующего по глубине слоя.

Кроме того, обеспечивается возможность отображения с эффектом прозрачности грунтового массива — (как сплошного, так и с изолированными слоями), учет освещенности — и совместного отображения грунтового массива и скважин — .

Кнопки управления отображением находятся в инструментальной панели окна трехмерного отображения.

Таблица грунтов включает три графы. В первой графе установлены маркеры, позволяющие отключить изображение одного или нескольких грунтов на объемном отображении.

Во второй графе находятся цветовые поля, соответствующие цветам отображения слоев. Для изменения цвета слоя следует подвести курсор к соответствующему цветовому маркеру и двойным щелчком левой кнопки мыши вызвать стандартное окно среды Windows — **Цвета**.

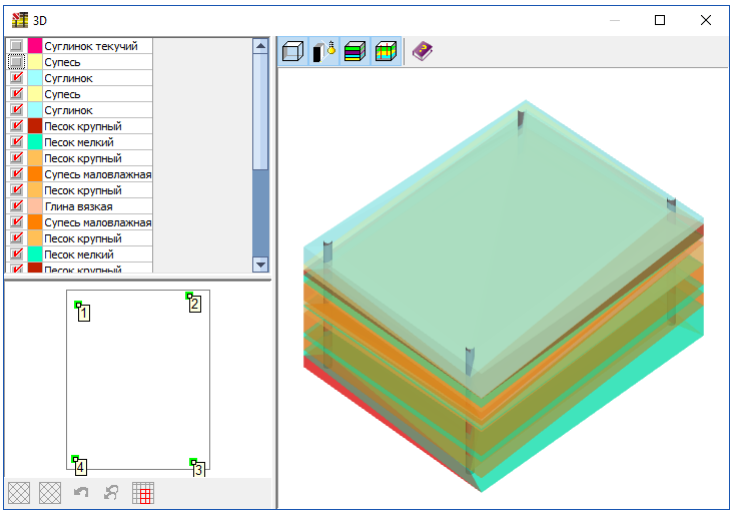


Рис. 13.7.40-1. Окно 3D

В третьей графе приводится наименование слоя, присвоенное слою при вводе исходных данных.

Окно фрагментации позволяет построить любой разрез грунтового массива. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- установить курсор в точку начала линии разреза;
- протянуть «резиновую нить» в направлении разреза;
- вторично нажать левую кнопку мыши для фиксации линии.

Обратите внимание на то, что положение начальной и конечной точки на линии разреза не имеет значения. При построении учитывается только направление.

После выполнения последнего действия площадка, включающая грунтовый массив, будет разделена линией разреза на две части — красную и синюю. Выбор интересующей «половины» выполняется нажатием кнопки соответствующего цвета в инструментальной панели — (красная) и (синяя), после чего секущая плоскость с отображением грунтового массива будет показана на объемном отображении. Предусмотрена возможность одновременного наличия нескольких секущих плоскостей.

Кроме указанных кнопок в инструментальной панели окна фрагментации находятся:

- кнопка отмены последнего отсечения — ;
- кнопка возврата в исходное состояние (отмены всех выполненных отсечений) — ;
- кнопка вызова навигатора — , показывающего в окне фрагментации текущее состояние грунтового массива после выполнения серии отсечений.

Для изменения размеров полей окна **3D** следует подвести курсор к границе, разделяющей поля, и после смены вида курсора нажать левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом состоянии, «перетянуть» выбранную границу.

Для выхода из окна объемного отображения следует нажать кнопку **Закрыть** в строке заглавия окна.

13.7.41 Измерение расстояний

С помощью курсора можно определить расстояние между двумя точками площадки. Для этого следует подвести его к первой точке и, нажав левую кнопку мыши, переместить курсор во вторую точку. В правой части строки состояния будет указано расстояние между точками (точность указания

зависит от установленного количества значащих цифр на странице **Единицы измерения** окна **Настройки**). Координаты текущего положения курсора выводятся в средней части строки состояния.

Отметим, что для выполнения операции необходимо отключить все режимы редактирования.

13.7.42 Начало координат

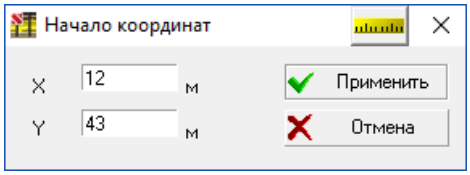


Рис. 13.7.42-1. *Диалоговое окно* **Начало координат**

Операция вызывается из раздела меню **Редактирование** и позволяет выполнить перенос начала координат в точку с заданными координатами (рис. 13.7.42-1).

Вращение сетки происходит вокруг начала координат, поэтому сдвиг начала координат может быть полезен при задании контуров.

13.7.43 Шаг сетки

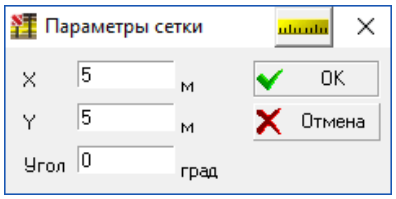


Рис. 13.7.43-1. *Диалоговое окно* **Параметры сетки**

Параметры координатной сетки задаются в одноименном диалоговом окне (рис. 13.7.43-1), которое появляется после инициализации соответствующей операции. В полях ввода этого окна задаются шаги сетки по горизонтали (вдоль оси **X**) и по вертикали (вдоль оси **Y**), а также угол наклона сетки в градусах относительно горизонтальной оси. Вращение сетки производится вокруг начала системы координат.

Следует отметить, что шаг сетки и угол ее наклона могут неоднократно меняться в процессе ввода контуров. Это позволяет настраивать сетку в соответствии с размерами или положением вводимого контура.

На экране сетка появляется после ввода ее параметров (рис. 13.7.43-2).

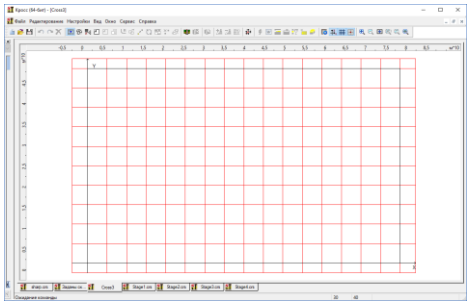


Рис. 13.7.43-2. *Отображение сетки в рабочем поле*

13.7.44 Сетка

Включает или выключает в рабочем поле отображение размерной сетки. Шаг сетки назначается одноименной операцией в разделе меню **Настройки** или нажатием кнопки на инструментальной панели.

13.7.45 Поля для зданий

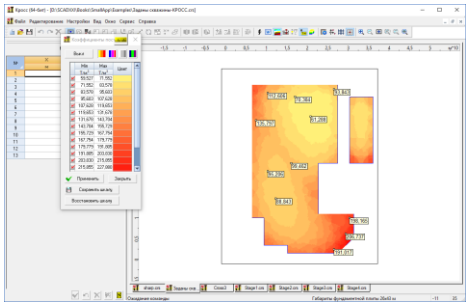


Рис. 13.7.45-1. *Поле коэффициентов постели для фундаментной плиты и примыкающего здания*

В программе предусмотрена возможность получить поля для существующих зданий, если выбрана соответствующая операция в разделе меню **Настройки**. Как правило, информация о распределении коэффициентов постели для существующих зданий не представляет интереса при проектировании. Тем не менее, бывают ситуации, при которых эта информация является полезной.

Если выбрана операция **Поля для зданий**, то будет получена полная картина распределения коэффициентов постели по всем зданиям (рис. 13.7.45-1).

13.7.46 Увеличение и уменьшение масштаба изображения

Изображение площадки может быть увеличено. Каждое нажатие кнопки — **Увеличить масштаб** увеличивает линейный масштаб на 10%. Максимальный масштаб соответствует увеличению изображения в два раза. Если масштаб был увеличен, то вдоль правой и нижней границ **Рабочего поля** устанавливаются полосы прокрутки, с помощью которых можно изменить положение изображения в рабочем поле. Уменьшение изображения выполняется кнопкой — **Уменьшить масштаб**, каждое нажатие которой уменьшает изображение на 10% вплоть до номинального размера изображения в окне.

13.7.47 Лупа

Операция визуализации **Лупа** позволяет получить увеличенное до необходимых размеров изображение **выбранной** с помощью прямоугольной рамки (прицела) части экрана. Рекомендуется следующий порядок работы в режиме **Лупа**:

- нажать кнопку в инструментальной панели, после чего на экране появляется диалоговое окно **Лупа** с установленным по умолчанию (или по результатам последнего обращения к операции **Лупа**) значением масштаба;
- после перемещения курсора в рабочее поле окна с изображением объекта появляется прицел в виде прямоугольной рамки, размеры которой соответствуют установленному в окне **Лупа** значению масштаба (рис. 13.7.47-1);
- перемещая курсор вместе с прицелом, подвести его к интересующей области изображения так, чтобы эта область находилась в центре прицела, и зафиксировать положение нажатием левой кнопки мыши.
- в окне **Лупа** с помощью ползуна или кнопок «+» и «-» установить необходимый масштаб изображения;
- продолжить работу с объектом.

Работа с лупой не прерывает установленную до ее активизации операцию, что позволяет сразу после фиксации положения рамки продолжить работу с объектом.

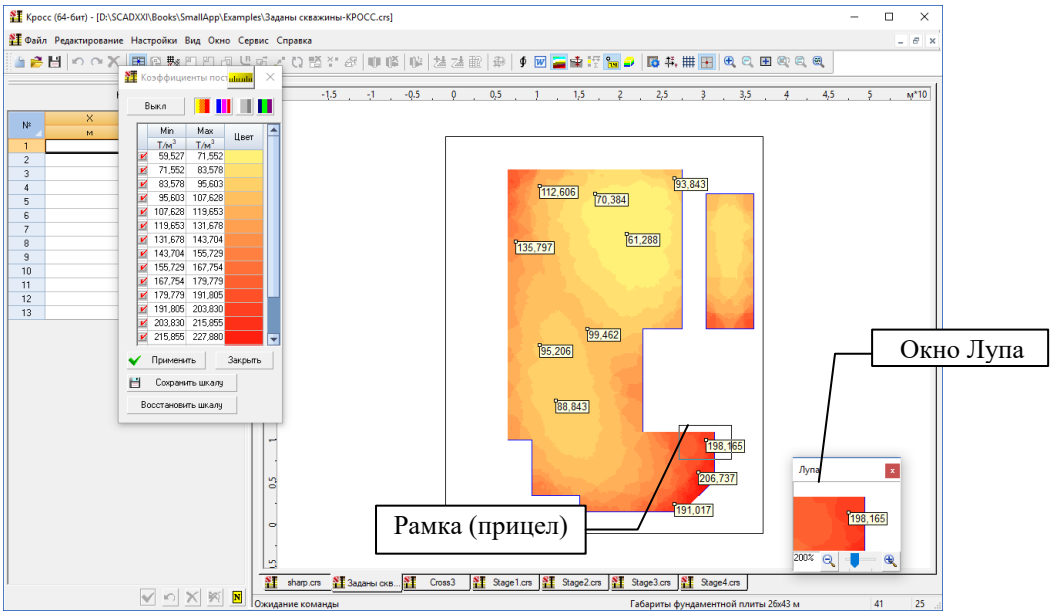


Рис. 13.7.47-1. Работа с изображением площадки в режиме **Лупа**

13.7.48 Увеличить изображение

После активизации этой операции можно с помощью прямоугольной рамки выбрать часть изображения модели, которая после нажатия левой кнопки мыши будет показана в увеличенном виде.

13.7.49 Исходный масштаб

Операция возвращает изображение площадки в исходное состояние — к номинальному размеру.

13.7.50 Вызов справки

Нажатие кнопки **Справка** активизирует стандартную функцию MS Windows для получения справки из базы, созданной разработчиками программы.

13.7.51 О программе

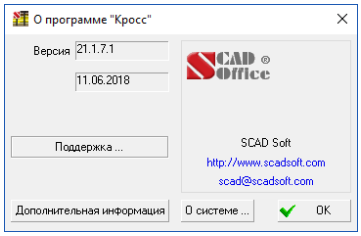


Рис. 13.7.51-1. *Информационное окно* **О программе**

После нажатия этой кнопки вызывается информационное окно **О программе** (рис. 13.7.51-1), в котором приводится информация о версии и разработчике программы.

Кроме того, в этом окне имеются кнопки **Дополнительная информация**, открывающая список модулей, составляющих программу, а также **О системе**, нажатие которой открывает стандартное окно среды Windows с системной информацией.

Кнопка **Поддержка...** позволяет сформировать письмо в службе технической поддержки. При этом к письму будут автоматически присоединены файлы с информацией об операционной системе.

13.8 Литература

[1] Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., SCAD Office Вычислительный комплекс SCAD. – М: Изд. АСВ, 2007. – 592 с.

[2] Федоровский В. Г., Безволев С. Г., Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2000. – № 4. – С. 10–18.

14. Программа Пастернак

Для однородного в плане многослойного основания, состоящего из конечного числа слоев, каждый из которых является линейно-деформируемым и постоянным по толщине, коэффициенты жесткости основания могут быть определены по методике, предложенной М.И. Горбуновым-Посадовым, В.З. Власовым и П.Л. Пастернаком (см. [1], [2], [3], [4], [5]). Программа **Пастернак** предназначена для определения коэффициента постели C_1 (коэффициент сжатия) и C_2 (коэффициент сдвига) в соответствии с вышеуказанной методикой.

14.1 Управление программой

Окно программы представляет собой двухстраничное диалоговое окно. На первой странице находится таблица, в которой задается информация обо всех слоях грунта многослойного основания.

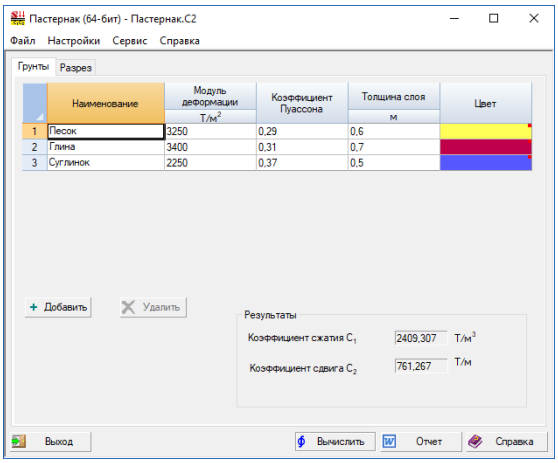


Рис. 14.1-1. *Страница* **Грунты**

Перед вводом характеристик каждого слоя грунта необходимо нажать кнопку **Добавить** (рис. 14.1-1).

При этом в таблице грунтов появится новая строка, в которой задается:

- наименование грунта;
- модуль деформации (E_0)[9];
- коэффициент Пуассона (ν);
- толщина слоя грунта (h).

В последнем столбце следует назначить цвет, которым данный грунт будет изображаться при построении разреза.

[9] Податливость грунтового основания (и коэффициенты постели) выражаются через модуль деформации грунта, если нагрузка на основание действует длительное время и неупругая часть осадки грунта успевает реализоваться. При кратковременных динамических нагрузках податливость основания определяется модулем упругости грунта. В программе наименование соответствущей колонки (модуль деформации) не меняется и пользователь должен сам на основании типа нагрузки принять решение об использовании модуля упругости или модуля деформации.

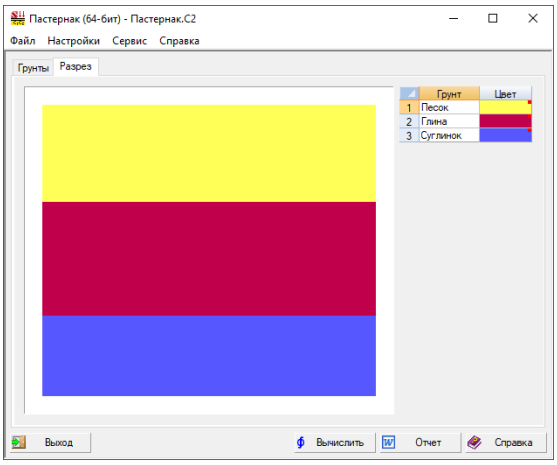


Рис. 14.1-2. *Страница* **Разрез**

На второй странице **Разрез** (рис. 14.1-2) можно получить вертикальный разрез многослойного основания.

В верхней части окна находится меню, с помощью которого можно сохранить созданную модель многослойного основания в файле (с расширением **c2**), загрузить ранее созданную модель или сохранить модель под другим именем. Пункт меню **Настройки** позволяет активизировать многостраничное диалоговое окно для настройки параметров программы (см. ниже). Кроме того, с помощью меню можно вызвать сервисные функции (калькулятор Windows, формульный калькулятор и программу для преобразования единиц измерений, работа с последними двумя описана в **Приложении**). Из пункта меню **Справка** можно получить доступ к справочной информации.

14.2 Расчет

Результатом расчета являются два коэффициента постели C_1 (коэффициент сжатия) и C_2 (коэффициент сдвига). При расчете используются *приведенные* модули деформации. Поскольку эти модули могут иметь различные значения в зависимости от допущений, принимаемых в отношении боковых деформаций или напряжений, приведем реализованные в программе зависимости.

Для каждого слоя приведенный модуль деформации

$$E = E_0 \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)},$$

модуль сдвига

$$G = \frac{E_0}{2(1+\nu)}.$$

Обозначим через $H = \sum_{i=1}^{n} h_i$ полную толщину многослойного основания, тогда

$$C_1 = \left(\int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-1};$$

$$C_2 = \left(\int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-2} \int_0^H \frac{1}{E(z)} \left(\int_0^z G(t) \left(\int_t^H \frac{ds}{E(s)} \right) dt \right) dz,$$

где $E(z), G(z)$ — соответственно, приведенные модули деформации и сдвига на глубине z.

14.3 Литература

[1] Власов В.З., Леонтьев Н.Н., Балки, плиты и оболочки на упругом основании, – М. Физматгиз, 1960, 491 с.

[2] Горбунов-Посадов М.И., Балки и плиты на упругом основании. – Машстройиздат, 1949.

[3] Медников И.А., Коэффициенты постели линейно-деформируемого многослойного основания, Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967, – №4.
[4] Пастернак П.Л., Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954, 56 с.
[5] Шашкин К. Г., Использование упрощенных моделей основания для решения задач совместного расчета основания и конструкций сооружения. (http://www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm)
[1] Власов В.З., Леонтьев Н.Н., Балки, плиты и оболочки на упругом основании, – М. Физматгиз, 1960, 491 с.
[2] Горбунов-Посадов М.И., Балки и плиты на упругом основании. – Машстройиздат, 1949.
[3] Медников И.А., Коэффициенты постели линейно-деформируемого многослойного основания, Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967, – №4.
[4] Пастернак П.Л., Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954, 56 с.
[5] Шашкин К. Г., Использование упрощенных моделей основания для решения задач совместного расчета основания и конструкций сооружения. (http://www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm)

15. Программа Откос

Расчет устойчивости откосов (склонов) — одна из важнейших инженерно-геологических задач. Для ее решения разработаны многочисленные методы в рамках теории предельного равновесия [2]. Эти методы, как правило, исходят из нижеизложенных предпосылок.

В качестве механизма потери устойчивости принимается механизм скольжения оползающего массива относительно неподвижной части откоса. Граница раздела называется поверхностью скольжения.

Сопротивление сдвигу по поверхности скольжения рассчитывается для статических условий. Вдоль всей поверхности выдерживается критерий разрушения грунта, принимаемый в виде закона Кулона.

Реальное сдвигающее напряжение, получаемое расчетом, сопоставляется с предельным сопротивлением сдвигу, и результат этого сравнения выражается в виде коэффициента запаса устойчивости *K*. Для выбранной поверхности скольжения коэффициент K представляет собой такое число, что если прочностные характеристики (угол внутреннего трения и удельное сцепление) вдоль всей поверхности уменьшены в *K* раз, то отделяемый массив в целом окажется в состоянии предельного равновесия. Коэффициент запаса устойчивости склона (откоса) — это минимальный из коэффициентов запаса устойчивости по всем возможным поверхностям скольжения, удовлетворяющим заданным ограничениям (ограничения обычно заложены в методе расчета).

Реальная поверхность скольжения трехмерна. Но в подавляющем большинстве методов расчета, в том числе и в программе **Откос**, принята предпосылка о плоской деформации, когда поверхность скольжения — цилиндрическая с образующими, параллельными поверхности склона, а задача сводится к поиску критической направляющей, называемой линией скольжения. Такой подход основан на гипотезе, что неучет пространственности мало влияет на величину коэффициента запаса устойчивости и идет в запас прочности.

Используются различные, как правило, весьма ограниченные классы возможных пробных линий скольжения (дуги окружностей или логарифмических спиралей). Однако очевидно, что для существенно неоднородных откосов и сложной гидрогеологической обстановки, которые рассматриваются в настоящей разработке, ограничения на выбор поверхности скольжения должны быть минимальными. В основе алгоритма расчета, реализованного в программе **Откос**, лежит методика В.Г. Федоровского и С.В. Курилло, предложенная в работах [3], [4] и основанная на методе переменной степени мобилизации сопротивления сдвигу (МПСМ). Кроме того, в программе реализовано и несколько классических методов анализа устойчивости откосов:

- Феллениуса;
- Бишопа упрощенный;
- Спенсера;
- Корпуса инженеров. Метод №1;
- Лоув Карафайт;
- Янбу упрощенный;
- Янбу корректированный.

Описание этих стандартных методов приведено в большинстве книг, посвященных проблеме устойчивости откосов (см., например, [1], [4]).

Отметим, что методы Феллениуса, Бишопа упрощенный и Спенсера позволяют найти только круглоцилиндрические поверхности скольжения.

15.1 Управление программой

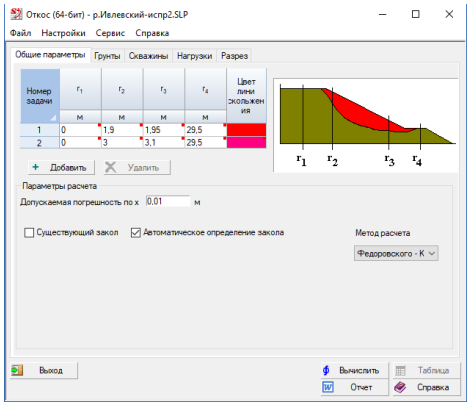


Рис. 15.1-1. *Страница* **Общие параметры** *диалогового окна программы* **Откос**

Реализованные в программе принципы управления, подготовки данных и документирования результатов расчета полностью совпадают с аналогичными режимами проектно-аналитических программ, входящих в состав системы **SCAD Office®**. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами (рис. 15.1-1). Активизация страницы происходит при нажатии на ее закладку, кроме того, используется меню.

Исходные данные готовятся на четырех страницах — **Общие параметры**, **Грунты**, **Скважины** и **Нагрузка**. Контроль исходных данных по геологическому разрезу склона, а также графическое отображение результатов расчета (поверхности скольжения) выполняется на странице **Разрез**.

15.2 Подготовка исходных данных

15.2.1 Страница Общие параметры

Расчет устойчивости склона и поиск наиболее вероятной поверхности скольжения осуществляется при заданных интервалах его начала и конца. На этой странице задаются размеры оползневого участка склона. В общем случае это четыре числа: r_1, r_2, определяющие интервал изменения допускаемых значений абсцисс начала оползня, и аналогичные данные для конца оползня — r_3, r_4. Поскольку склон может быть направлен как слева направо, так и наоборот, то понятия «начало оползня» и «конец оползня» условные и могут поменяться местами при направлении склона справа налево (рис. 15.2.1-1). Независимо от направления склона должны соблюдаться следующие правила задания значений r: $r_4 > r_1$, $r_2 \geq r_1$, $r_4 \geq r_3$. Отметим, что программа позволяет задать несколько вариантов значений r и тем самым определить несколько возможных линий скольжения (и соответствующих коэффициентов запаса устойчивости) при различных интервалах начала/конца оползня. Добавление/удаление вариантов расчета производится с помощью кнопок **Добавить/Удалить**, расположенных на первой странице.

Направление склона определяется характеристиками скважин (задаются на странице **Скважины**).

Рис. 15.2.1-1. *Независимо от направления склона правила задания r*: $r_4 > r_1, r_2 \geq r_1, r_4 \geq r_3$

Кроме размеров оползневого участка на странице **Общие параметры** (рис. 15.1-1) задаются параметры расчета, которые включают следующие данные:

Допускаемая погрешность по x — точность определения отметок поверхности скольжения;

Существующий закол — маркер, указывающий на наличие закола у границы начала оползня. Если этот маркер активен, то следует активировать маркер, указывающий, где находится граница начала оползня

(**Закол слева** — склон слева направо, **Закол справа** — склон справа налево). Глубина закола задается в поле ввода **Глубина закола**. Отметим, что закол должен быть расположен в начале оползня (в более высокой точке линии скольжения). Программа не контролирует правильность задания положения закола (альтернатива *закол слева/справа*).

Автоматическое определение закола – маркер, указывающий, что при анализе следует учитывать возможность образования (или развития, при взведенном маркере **Существующий закол**) вертикальной трещины в верхней части линии скольжения.

В выпадающем списке можно выбрать метод расчета.

15.2.2 Страница Грунты

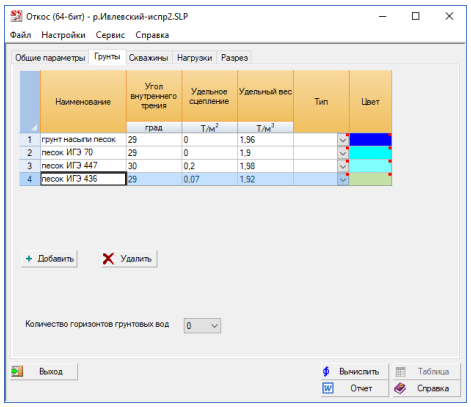


Рис. 15.2.2-1. *Страница* **Грунты**

На этой странице (рис. 15.2.2-1) задаются характеристики грунтов. Порядок задания грунтов не имеет значения. Для решения задачи необходимы следующие данные о грунтах (указаны принятые по умолчанию единицы измерения):

- угол внутреннего трения (градусы);
- удельное сцепление (тс/м^2);
- удельный вес сухого грунта (тс/м^3);
- удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии (тс/м^3).

Кроме того, для водоупорных грунтов в графе **Тип** из списка выбирается соответствующий признак. Некоторые слои грунта могут обладать конструктивными свойствами (например, армирование), которые не допускают прохождение линии скольжения через них. В этом случае в графе **Тип** следует выбрать вариант "нет скольжения" (отметим, что такого типа грунты программа также считает водоупорными). Каждому виду грунта может быть назначен цвет, что облегчает контроль структуры грунтового массива на странице **Разрез**.

Количество горизонтов грунтовых вод (от 0 до 3) назначается путем выбора соответствующего числа из одноименного списка. Уровень каждого горизонта задается на странице **Скважины**.

15.2.3 Страница Скважины

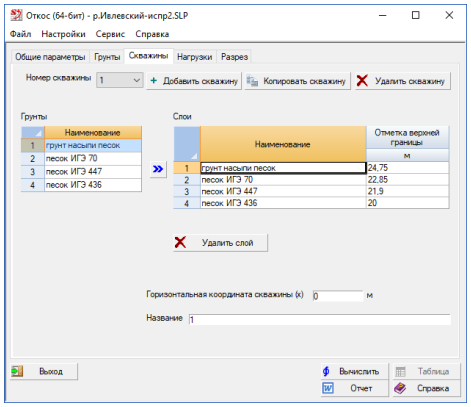


Рис. 15.2.3-1. *Страница* **Скважины**

Геологический разрез исследуемого склона задается путем описания скважин на одноименной странице (рис. 15.2.3-1). Именно отметки верхней границы первых слоев грунта определяют направление склона и его уклон. Отметки могут быть заданы в любой системе координат, единой для всех скважин.

Для задания характеристик скважин следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Добавить скважину** (в списке **Номер скважины** появится ее текущий номер);
- в таблице **Грунты** выбрать строку с наименованием верхнего слоя грунта текущей скважины и нажатием кнопки перенести его в таблицу **Слои**;
- повторить эту операцию для каждого грунта текущей скважины в порядке их следования от поверхности;
- задать отметки верхней границы слоя для каждого грунта;

- если количество горизонтов грунтовых вод не равно нулю, то задать в таблице **Уровни грунтовых вод** отметку уровня (м) для каждого горизонта;
- указать горизонтальную координату скважины относительно начала системы координат оползневого склона (горизонтальные координаты скважин не должны совпадать);
- задать наименование скважины (это имя отображается на разрезе склона и в таблице описания скважин Отчета);
- вернуться к первой позиции списка действий и повторить все описанные действия для каждой следующей скважины.

Порядок описания скважин не имеет значения, так как учитывается привязка каждой скважины по оси X.

Отметим, что однозначно восстановить структуру грунтового массива по информации о структуре скважин невозможно. Это видно из следующего простого примера. Предположим, что имеются две скважины со следующей структурой:

Скважина 1		**Скважина 2**	
Грунт	**Отметка верхней границы**	**Грунт**	**Отметка верхней границы**
Суглинок	0	Песок	0
Глина	-10	Суглинок	-10

Геологический разрез может иметь вид:

Неоднозначность подобного рода может быть устранена, если в каждой скважине задавать единый пакет грунтов. То есть в каждой скважине набор грунтов и их последовательность одна и та же (отличаются только отметки верхней границы), а отсутствие какого-либо грунта (например, *i*-го) в некоторой скважине задается посредством одинаковой отметки уровня *i*-го и (*i*+1)-го грунтов. Для приведенного выше примера структура скважин должна быть описана следующим образом (если предполагать, что правильным является правая картина геологического разреза).

Скважина 1		**Скважина 2**	
Грунт	**Отметка верхней границы**	**Грунт**	**Отметка верхней границы**
Песок	0	Песок	0
Суглинок	0	Суглинок	-10
Глина	-10	Глина	-10

Геологический разрез исследуемого склона задается путем описания скважин на одноименной странице (рис. 15.2.3-1). Именно отметки верхней границы первых слоев грунта определяют направление склона и его уклон. Отметки могут быть заданы в любой системе координат, единой для всех скважин.

Для задания характеристик скважин следует выполнить следующие действия:

- нажать кнопку **Добавить скважину** (в списке **Номер скважины** появится ее текущий номер);
- в таблице **Грунты** выбрать строку с наименованием верхнего слоя грунта текущей скважины и нажатием кнопки перенести его в таблицу **Слои**;
- повторить эту операцию для каждого грунта текущей скважины в порядке их следования от поверхности;
- задать отметки верхней границы слоя для каждого грунта.

15.2.4 Страница Нагрузки

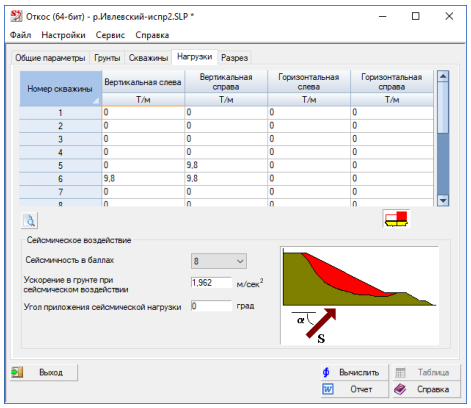


Рис. 15.2.4-1. *Страница* **Нагрузки**

На этой странице (рис. 15.2.4-1) задаются нагрузки (напоры), действующие на определенный участок склона. Программа рассматривает задачу в "двумерной" постановке. То есть, по сути, рассматривается вырезанный из реального откоса плоский слой толщиной в 1 метр и поэтому нагрузки задаются на погонный метр ширины откоса. Нагрузки аппроксимируются кусочно-линейными функциями координаты *x* и для удобства описания привязываются к скважинам. Рассматриваются распределенные нагрузки, направленные вертикально и/или горизонтально в верхней точке указанных скважин. По умолчанию значения нагрузки слева и справа от каждой скважины равны нулю. Таким образом, если необходимо задать некоторую распределенную нагрузку, действующую на участке склона между двумя соседними скважинами, следует указать, от какой скважины она начинается и на какой скважине заканчивается. Контроль заданных нагрузок выполняется в окне **Диаграмма нагрузок**, которое вызывается нажатием кнопки **Просмотр эпюры нагрузок** .

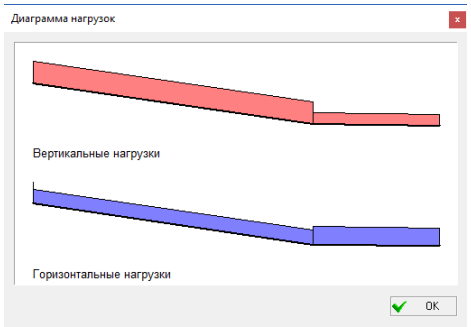


Рис. 15.2.4-2. *Окно* **Диаграмма нагрузок**

Например, трапециевидная нагрузка между скважинами С2 (30 тс/м) и С3 (40 тс/м), заданная в таблице, показанной на рисунке 15.2.4-1, и представленная в окне предварительного просмотра **Диаграмма нагрузок** (рис. 15.2.4-2), описана следующим образом:

в графе *Вертикальная слева* скважины С2 задан ноль, это означает, что левее скважины С2 нагрузка отсутствует;

в графе *Вертикальная справа* скважины С2 задано значение 30 тс/м, т.е. правее скважины С2 есть нагрузка, начальное значение которой 30 тс/м;

в графе *Вертикальная слева* скважины С3 задано значение 40 тс/м, это означает, что конечное значение нагрузки на участке С2-С3 будет 40 тс/м;

в графе *Вертикальная справа* скважины С3 задано значение ноль, это означает, что правее скважины С3 нагрузка отсутствует.

Аналогично задана равномерно распределенная (12 тс/м) горизонтальная нагрузка между этими же скважинами.

При задании нагрузок следует придерживаться правила знаков, приведенного на рисунке 15.2.4-3.

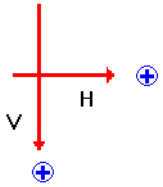


Рис. 15.2.4-3. *Правило знаков при задании нагрузок на склон*

При расчете коэффициента запаса устойчивости с учетом сейсмического воздействия необходимо выбрать из списка значение сейсмичности площадки в баллах, а также задать ускорение в грунте при

сейсмическом воздействии (если его значение отличается от стандартного) и угол приложения сейсмической нагрузки. Если необходимо повторить расчет без учета сейсмики, достаточно задать равным нулю (обнулить) один из параметров, например ускорение в грунте.

Учет сейсмической нагрузки производится в предположении, что весь грунтовой массив движется синхронно с ускорением, которое задано пользователем, а направление вектора ускорения соответствует заданному углу приложения сейсмической нагрузки. При этом возникают объемные инерционные силы, равные произведению удельной массы на ускорение, которые учитываются в расчете.

15.3 Расчет и отображение результатов расчета

Вычисление коэффициента запаса устойчивости выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Расчет включает два шага — уточнение начального приближения, а также вычисление коэффициента запаса и построение поверхности скольжения. Поверхность скольжения выводится на разрезе склона на странице **Разрез** (рис. 15.2.4-1).

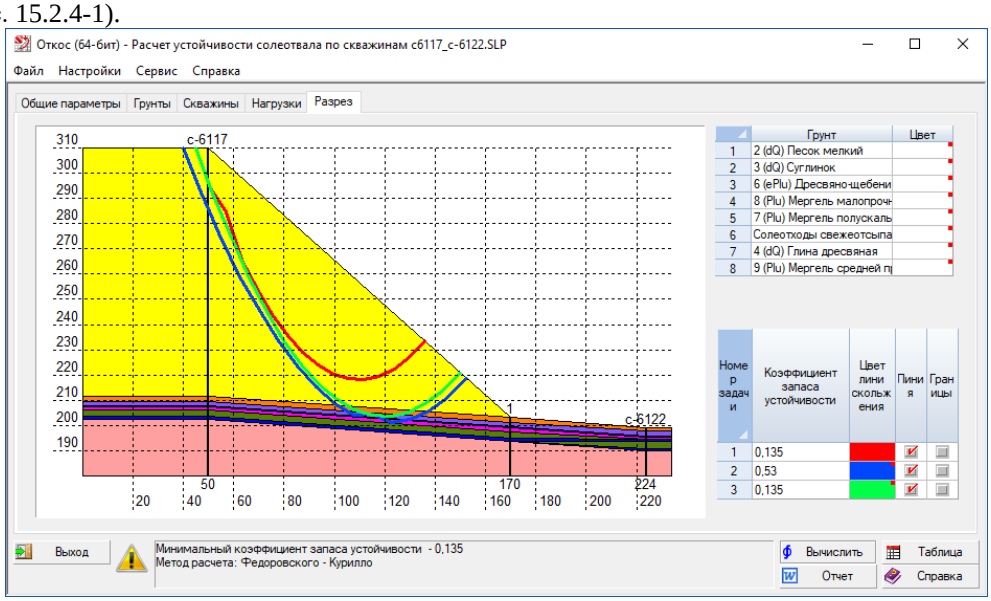
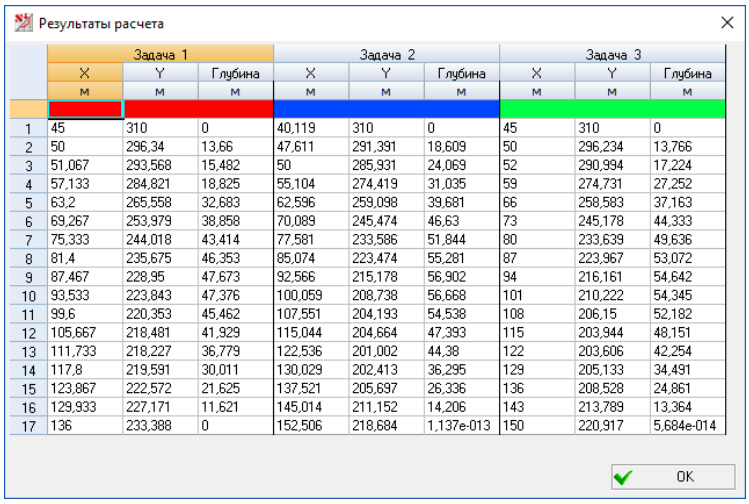


Рис. 15.2.4-1. *Страница* **Разрез** *с отображением поверхности скольжения*

Если на странице **Общие параметры** было задано несколько вариантов расчета, то на странице **Разрез** в соответствующей таблице приведены коэффициенты запаса устойчивости для всех решенных задач, и с помощью маркеров в этой таблице можно включать/выключать отображение соответствующих линий скольжения, также менять их цвет, отображать границы поиска начала и конца линий скольжения.

Кроме того, нажатие кнопки **Таблица** позволяет оперативно получить табличное представление линий скольжения:



	Задача 1			Задача 2			Задача 3		
	X	Y	Глубина	X	Y	Глубина	X	Y	Глубина
	м	м	м	м	м	м	м	м	м
1	45	310	0	40,119	310	0	45	310	0
2	50	296,34	13,66	47,611	291,391	18,609	50	296,234	13,766
3	51,067	293,568	15,482	50	285,931	24,069	52	290,994	17,224
4	57,133	284,821	18,825	55,104	274,419	31,035	59	274,731	27,252
5	63,2	265,558	32,683	62,596	259,098	39,681	66	258,583	37,163
6	69,267	253,979	38,858	70,089	245,474	46,63	73	245,178	44,333
7	75,333	244,018	43,414	77,581	233,586	51,844	80	233,639	49,636
8	81,4	235,675	46,353	85,074	223,474	55,281	87	223,967	53,072
9	87,467	228,95	47,673	92,566	215,178	56,902	94	216,161	54,642
10	93,533	223,843	47,376	100,059	208,738	56,668	101	210,222	54,345
11	99,6	220,353	45,462	107,551	204,193	54,538	108	206,15	52,182
12	105,667	218,481	41,929	115,044	204,664	47,393	115	203,944	48,151
13	111,733	218,227	36,779	122,536	201,002	44,38	122	203,606	42,254
14	117,8	219,591	30,011	130,029	202,413	36,295	129	205,133	34,491
15	123,867	222,572	21,625	137,521	205,697	26,336	136	208,528	24,861
16	129,933	227,171	11,621	145,014	211,152	14,206	143	213,789	13,364
17	136	233,388	0	152,506	218,684	1,137e-013	150	220,917	5,684e-014

По результатам расчета может быть сформирован отчет.

15.4 Литература

[1] Федоровский В. Г., Курило С. В., Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1998. – № 4-5. –С. 18 – 22.

[2] Федоровский В.Г., Курилло С.В., Метод расчета устойчивости откосов и склонов // Геоэкология, 1997. – №6. – С. 95 – 106.

[3] Хуан Я. Х. Устойчивость земляных откосов. – М.: Стройиздат, 1988.

[4] Anderson M.G., Richards K.S., Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology. – John Wiley and Sons, 1987, N.Y.

Фундамент нужен не потому, что в подвале жить хорошо.
В.Босс “Лекции по математике: от Диофанта до Тьюринга”. Т. 6”

16. Программа ЗАПРОС

Программа **ЗАПРОС** предназначена для выполнения расчетов и проверок элементов оснований и фундаментов на соответствие требованиям СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 и СП 50-101-2004, СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 и СП 50-102-2003, СП 22.13330 и СП 24.13330.2011 или ДБН В.2.1-10-2009. Кроме того, в программе предусмотрена возможность получения справочных данных, часто используемых при проектировании оснований и фундаментов.

В данной версии программы реализованы режимы расчета оснований по деформациям прямоугольных в плане фундаментов, определения крена фундаментов такого типа, вычисления коэффициентов постели и предельного давления при расчете деформаций (расчетного сопротивления грунта основания).

Реализованные в программе принципы управления, подготовки данных и документирования результатов расчета полностью совпадают с аналогичными режимами проектно-аналитических программ, входящих в состав системы **SCAD Office®**. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами. Активизация страницы происходит при нажатии на ее закладку, кроме того, используется меню.

16.1 Главное окно

При обращении к программе первым на экране появляется главное окно с картой входов в режимы программы (рис. 16.1-1), с кнопками выбора норм проектирования и настройки программы.

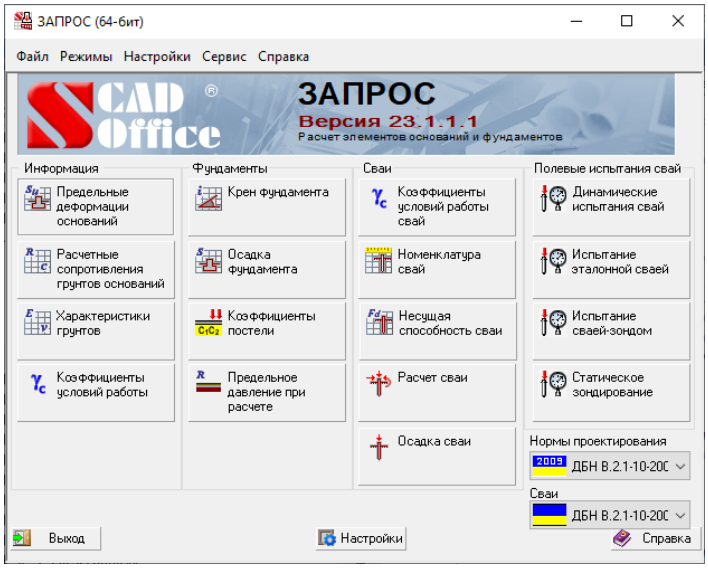


Рис. 16.1-1. Главное окно

Нормы проектирования оснований и фундаментов и свайных фундаментов выбираются из одноименных списков. Информация об установленных нормах выводится в нижнем левом углу окна активного режима. В случае, когда для расчета свай выбран ДБН В.2.1-10-2009 расчет полевых испытаний свай производится по ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Режимы вызываются нажатием специальной кнопки и могут быть отнесены к справочным (входить в группу **Информация**) или расчетным (входить в группу **Расчет**).

Справочные режимы представлены следующим набором:

Предельные деформации оснований — просмотр предельных значений относительной разности осадок, крена и средней или максимальной осадки для сооружений различного типа, приведенных в приложении 4 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (приложение Е СП 50-101-2004, приложений Д, Ж, Л СП 22.13330.2011, приложений Г, Е, К СП 22.13330.2016 или приложение И ДБН В.2.1-10-2009).

Расчетные сопротивления грунтов оснований — представлена информация о расчетных сопротивлениях грунтов различного вида, приведенная в приложении 3 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (приложение А СП 50-101-2004, приложение В СП 22.13330.2011, приложение Б СП 22.13330.2016, приложение Е ДБН В.2.1-10-2009);

Характеристики грунтов — представлена информация, приведенная в приложении 1 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (приложение Г СП 50-101-2004, приложение Б СП 22.13330.2011, приложение А СП 22.13330.2016, приложение В ДБН В.2.1-10-2009);

Коэффициенты условий работы — приводится информация из таблицы 3 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (табл. 5.2 СП 50-101-2004, табл. 5.4 СП 22.13330, табл. Е.7 ДБН В.2.1-10-2009).

В разделе **Фундаменты** выполняются следующие операции:

Крен фундамента — определение крена прямоугольного в плане фундамента от действующих на него нагрузок;

Осадка фундамента — расчет основания по деформациям прямоугольных в плане столбчатых и ленточных фундаментов, а также жестких плит;

Коэффициенты постели — определение коэффициентов жесткости основания, состоящего из конечного числа слоев, каждый из которых является линейно деформируемым и постоянным по толщине;

Предельное давление при расчете деформаций — вычисление предельного давления под подошвой фундамента (расчетного сопротивления грунта).

Раздел **Сваи** включает два информационных режима — **Коэффициенты условий работы свай** и **Номенклатура свай**, а также следующие расчетные режимы:

Несущая способность сваи — определяется несущая способность сваи, работающей на вертикальную нагрузку;

Расчет сваи — определяются коэффициент запаса устойчивости основания, минимальный и максимальный изгибающий момент и поперечная сила в сечении сваи, а также ряд других характеристик сваи;

Осадка сваи — определяется осадка сваи, работающей на вертикальную нагрузку.

Раздел **Полевые испытания свай** включает:

Динамические испытания свай — расчет на определение несущей способности свай по результатам их динамических испытаний;

Испытание эталонной сваей — определение несущей способности забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов эталонной сваей;

Испытание сваей-зондом — определение несущей способности забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов сваей-зондом;

Статическое зондирование — определение несущей способности забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов статическим зондированием.

При обращении к любому из указанных режимов появляется многостраничное диалоговое окно, в котором выполняются операции ввода данных и анализа результатов.

16.2 Информационные режимы

Информационные режимы включают данные, приведенные в СНиП, СП и ДБН. Все значения в таблицах приведены в тех же единицах измерения, что и в нормативных документах, и не зависят от единиц настройки программы.

16.2.1 Предельные деформации оснований

В этом режиме (рис. 16.2.1-1) приводятся данные из приложения 4 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98, приложения Е СП 50-101-2004, приложения Д, Ж, Л СП 22.13330.2011, приложения Г, Е, К СП 22.13330.2016 или приложение И ДБН В.2.1-10-2009.

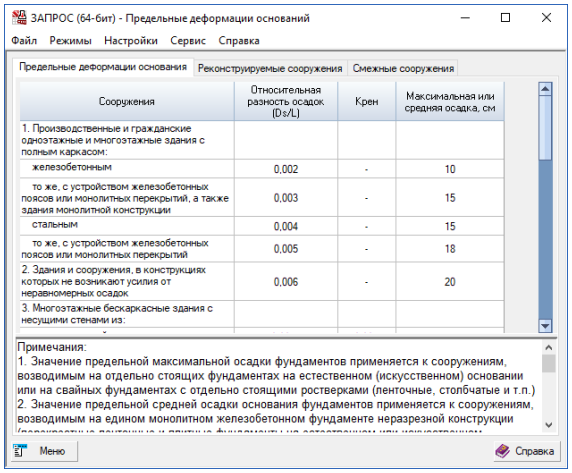


Рис. 16.2.1-1. *Диалоговое окно* **Предельные деформации оснований**

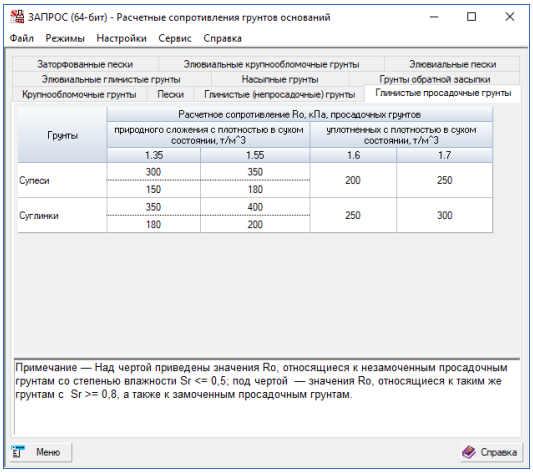


Рис. 16.2.1-1. *Диалоговое окно* **Расчетные сопротивления грунтов оснований**

16.2.2 Расчетные сопротивления грунтов оснований

Приведенная в этом режиме информация (рис. 16.2.2-1) включает данные из таблиц 1-6 приложения 3 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (приложение А СП 50-101-2004, приложение В СП 22.13330.2011, приложение Б СП 22.13330.2016, приложение Е ДБН В.2.1-10-2009), а именно, расчетные сопротивления крупнообломочных, песчаных, пылевато-глинистых, просадочных и насыпных грунтов, а также грунтов обратной засыпки.

16.2.3 Характеристики грунтов

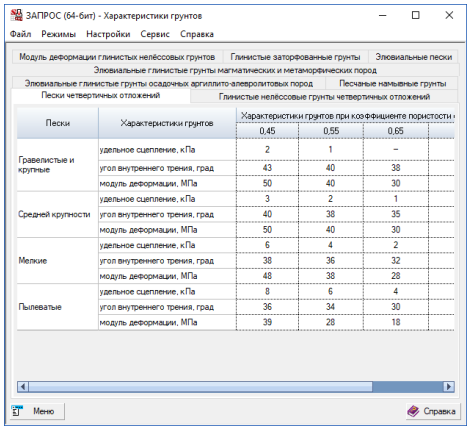


Рис. 16.2.3-1. *Диалоговое окно* **Характеристики грунтов**

Информация включает нормативные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов (рис. 16.2.3-1), приведенные в таблицах 1-3 приложения 1 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98, приложения Г СП 50-101-2004, приложения Б СП 22.13330.2011, приложения А СП 22.13330.2016, приложения В ДБН В.2.1-10-2009.

16.2.4 Коэффициенты условий работы

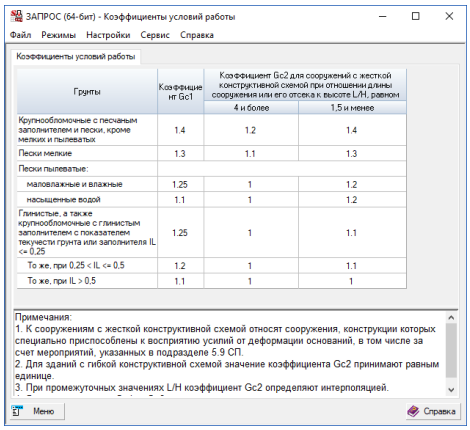


Рис. 16.2.4-1. *Диалоговое окно* **Коэффициенты условий работы**

Здесь (рис. 16.2.4-1) приведены данные из таблицы 3 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 (таблица 5.2 СП 50-101-2004, табл. 5.4 СП 22.13330, табл. Е.7 ДБН В.2.1-10-2009).

16.3 Фундаменты

16.3.1 Крен фундамента

Основные положения

Режим предназначен для определения крена прямоугольного в плане фундамента от действующих на него нагрузок от стен и колонн, нагрузок на прилегающие площади и давления соседних фундаментов в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 и рекомендаций "Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83)" НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР (1986г., п. 2.233-2.245, 2.212-2.218) [6], а также СП 50-101-2004, СП 22.13330.2011, ДБН В.2.1-10-2009.

Крен от нагрузок на фундамент определяется как с учетом, так и без учета отпора грунта по боковой поверхности подколонника (согласно 17.2.241 «Пособия...» рекомендуется учитывать отпор грунта по боковой поверхности подколонника для фундаментов, высота которых в грунте превышает 5 м; в СП 50-101-2004 и ДБН В.2.1-10-2009 вопросы отпора грунта по боковой поверхности не рассматриваются). Кроме того, определяются:

- глубина сжимаемой толщи;
- изгибающие моменты в уровне подошвы фундамента;
- краевые давления под подошвой фундамента (максимальные и минимальные);
- угловые давления под подошвой фундамента (максимальные и минимальные);
- относительная площадь отрыва при действии M_y, Q_y или M_z, Q_z (только в режиме расчета без учета бокового отпора грунта по СП 22.13330);
- коэффициент неравномерного сжатия грунта под подошвой;
- глубина центра поворота фундамента;
- ординаты эпюры отпора грунта по боковой поверхности подколонника в одиннадцати сечениях.

Все результаты выдаются для двух взаимно перпендикулярных плоскостей.

Режим может быть использован для столбчатых и ленточных фундаментов промышленных и гражданских зданий, а также различных сооружений. Жесткость надфундаментных конструкций не учитывается. Размеры подошвы фундамента не ограничиваются. Основание может состоять из неоднородных по глубине нескальных слоев грунта.

При расчете всегда используется рекомендуемое нормами среднее взвешенное значение удельных весов тела фундамента, грунта и пола, расположенных над подошвой фундамента, равное 2 Т/м^3.

Подготовка данных

Исходные данные для расчета задаются в многостраничном диалоговом окне **Крен фундамента** (рис. 16.3.1-1), которое включает следующие страницы:

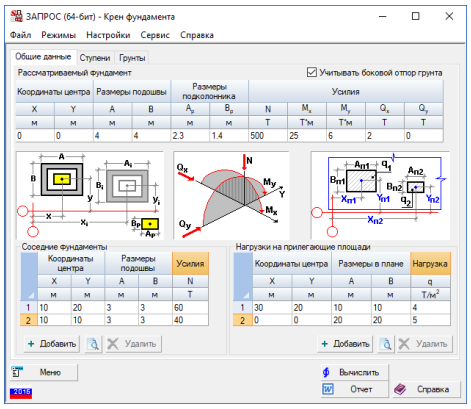


Рис. 16.3.1-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Крен фундамента**

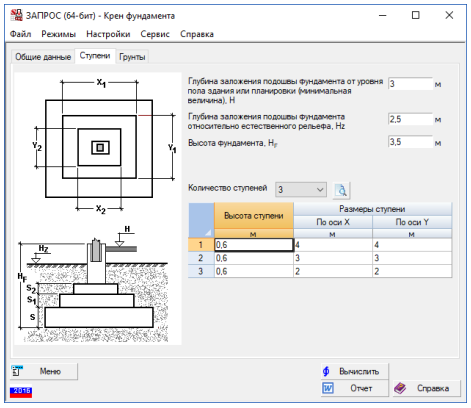


Рис. 16.3.1-2. *Страница* **Ступени**

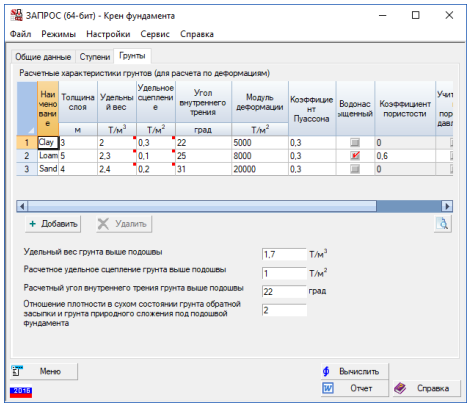


Рис. 16.3.1-3. *Страница* **Грунты**

Общие данные — задаются характеристики рассматриваемого фундамента и усилия, действующие в уровне верха рассматриваемого фундамента, а также характеристики соседних фундаментов и значения нормальных сил, действующих на соседние фундаменты в уровне их обреза. Кроме того, на этой странице назначаются нагрузки на прилегающие площади, которые описываются в виде прямоугольных областей. Для каждой области следует задать координаты привязки центра, размеры сторон прямоугольника и значение распределенной нагрузки, приложенной на обрезе фундамента. Вес грунта и собственно фундаментов учитывается автоматически. Для определения крена от влияния соседних фундаментов и нагрузок на прилегающие площади необходимо задать хотя бы одну нагрузку. Введенная информация может быть проконтролирована кнопками — **Предварительный просмотр**.

Ступени — задаются геометрические характеристики фундамента, а также глубина его заложения относительно уровня планировки (или пола) и природного рельефа (рис. 16.3.1-2). Геометрические характеристики включают данные о высоте фундамента, количестве, высоте и размерах ступеней (для ленточных фундаментов количество ступеней принимается равным единице и задается только высота первой ступени). В тех случаях, когда не учитывается боковой отпор грунта, данные о ступенях не требуются.

Грунты — задаются расчетные характеристики грунтов (для расчета по деформациям) под подошвой фундамента, необходимые для расчета по деформациям, а также характеристики грунта выше подошвы (рис. 16.3.1-3). Отметим, что для водонасыщенных грунтов следует задать удельный вес частиц грунта, в противном случае — удельный вес грунта. При расчете по СП 22.13330.2016 следует всегда задавать удельный вес грунта.

Согласно СП 22.13330 следует учитывать поровое давление грунтовых вод. Если слой грунта находится в водонасыщенном состоянии и удовлетворяет требованиям п. 5.6.40 СП 22.13330.2011, пользователь может взвести маркер в столбце "Учитывать поровое давление". При этом при расчете вертикального эффективного напряжения от собственного веса грунта будет учтено поровое давление на границе слоя.

Величина порового давления вычисляется на основании рекомендаций п. Б.1.2 СП 23.13330.2011.

При расчетах по СП 22.13330.2011 использовать маркер "Учитывать поровое давление" не рекомендуется, поскольку формулировки норм требуют использовать удельный вес водонасыщенных грунтов с учетом взвешивающего действия воды. Учет еще и порового давления приводит к двойному учету взвешивающего действия воды.

Эти ошибочные формулировки были исправлены только в СП 22.13330.2016.

Единственным нормативным документом, в котором оговорен расчет крена фундамента с учетом бокового отпора грунта, является Пособие к СНиП 2.02.01-83 [6]. Поэтому при любом выборе норм проектирования расчет в этом случае выполняется по методике, приведенной в данном Пособии.

Введенная на указанных страницах информация может быть проконтролирована кнопками **Предварительный просмотр**. При анализе параметров фундаментов в окне контроля данных для каждого фундамента (включая рассматриваемый) выводятся размеры подошвы A и B, а также значение нормальной силы (рис. 16.3.1-4). При контроле нагрузок на прилегающие площади их поля отображаются на фоне фундаментов и для каждой нагрузки показаны размеры ограничивающего ее прямоугольника и значение нагрузки (рис. 16.3.1-5).

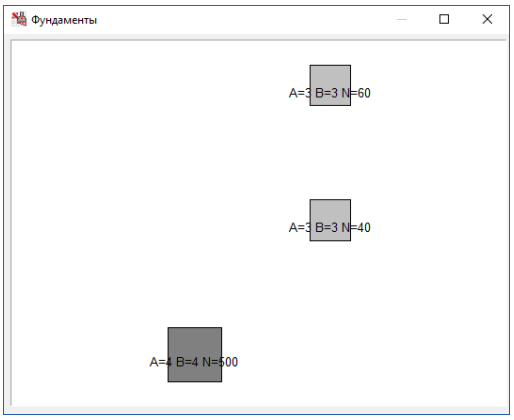


Рис. 16.3.1-4. *Контрольное окно* **Фундаменты**

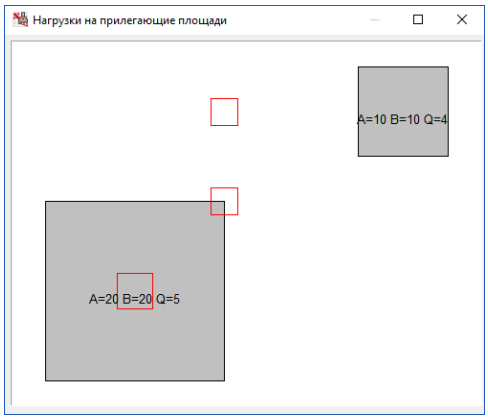


Рис. 16.3.1-5. *Контрольное окно* **Нагрузка на полы**

Результаты расчета

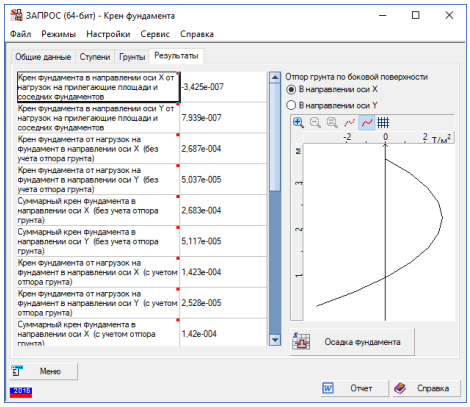


Рис. 16.3.1-6. *Страница* **Результаты** *диалогового окна* **Крен фундамента**

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результаты расчета в установленных в настройках единицах выдаются в табличном виде на странице **Результаты** (рис. 16.3.1-6) и включают следующие величины:

- крен фундамента в направлении осей X и Y от нагрузок на пол и влияния соседних фундаментов;
- крен фундамента в направлении осей X и Y от нагрузок на рассматриваемый фундамент без учета отпора грунта;
- суммарный крен фундамента в направлении осей X и Y (от полезных нагрузок на пол, влияния соседних фундаментов и от нагрузок на рассматриваемый фундамент) без учета отпора грунта;
- крен фундамента в направлении осей X и Y с учетом отпора грунта от нагрузок на рассматриваемый фундамент;
- суммарный крен фундамента в направлении осей X и Y;
- глубина сжимаемой толщи;
- изгибающие моменты в уровне подошвы фундамента в направлении осей X и Y;

- максимальные краевые давления под подошвой фундамента в направлении осей X и Y;
- минимальные краевые давления под подошвой фундамента в направлении осей X и Y;
- максимальное и минимальное угловые давления под подошвой фундамента;
- коэффициент неравномерного сжатия грунта под подошвой в вертикальном направлении в направлении осей X и Y (формула (84) «Пособия...» [6]);
- глубина центра поворота фундамента в направлении осей X и Y;
- относительная площадь отрыва фундамента (для случая одноосного изгиба при расчетах по СП 22.13330).

Кроме того, если расчет выполнялся с учетом бокового отпора грунта, на странице **Результаты** отображаются графики изменения отпора грунта по боковой поверхности по глубине в направлении осей X и Y. Если отпор грунта по боковой поверхности превышает расчетное сопротивление грунта, то выдается соответствующее сообщение с указанием оси.

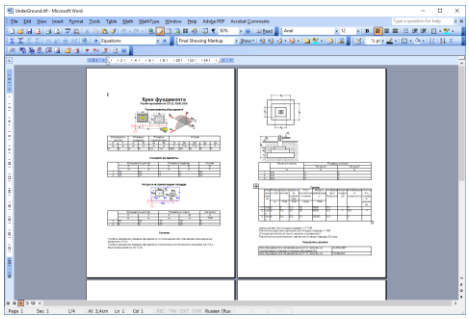


Рис. 16.3.1-7. *Представление отчета в окне редактора* **MS Word**

По результатам расчета формируется отчет (кнопка **Отчет**), который включает таблицы с исходными данными и результатами расчета. Если расчет выполнялся с учетом бокового отпора грунта, то отчет включает графики изменения отпора грунта по боковой поверхности подколонника, а также таблицу с ординатами эпюр отпора грунта по боковой поверхности в направлении осей X и Y и расчетным сопротивлением грунта сверху вниз в 11-ти сечениях. Отчет загружается автоматически в приложение, ассоциированное с форматом, заданным в настройках программы (рис. 16.3.1-7).

16.3.2 Осадка фундамента

Основные положения

Режим предназначен для расчета основания по деформациям прямоугольных в плане столбчатых и ленточных фундаментов, а также жестких плит.

Определяются величины средней осадки, просадки, проверяется соответствие давления в уровне подошвы фундамента и кровли всех слоев грунтов расчетному сопротивлению грунтов.

Если давление в уровне подошвы фундамента превышает расчетное, осадка определяется за пределом линейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунте согласно п.2.226 Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) [6].

Просадочные грунты могут быть первого либо второго типа.

Расчеты основания по деформациям выполняются с учетом давления от соседних фундаментов, вертикальных нагрузок на прилегающие площади в уровне планировки грунта, наличия подвала, грунтовых вод и водоупоров. При расчете всегда используется рекомендуемое нормами среднее взвешенное значение удельных весов тела фундамента, грунта и пола, расположенных над подошвой фундамента, равное 2 Т/м^3.

Предполагается, что подошвы рассматриваемого и соседних фундаментов расположены на одной отметке и бытовое давление у них на этой отметке одинаковое, но различны нагрузки и размеры подошв.

В результате работы программы определяются величины деформаций и выдаются сообщения о том, удовлетворяются ли условия расчета основания по деформациям.

Алгоритм выполнения расчета. Версия - СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98

Программа разработана на основании пп. 2.40; 2.41; 2.48 и Приложения 2 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 и соответствующих пунктов Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) [6].

В программе автоматически выбирается расчетная схема основания – в виде линейно-деформируемого слоя.

Для этого первоначально выполняется расчет по схеме линейно-деформируемого полупространства с определением величин деформаций и глубины сжимаемой толщи. Переход на схему линейно-деформирумого слоя осуществляется в двух случаях:

- в пределах сжимаемой толщи встретится слой с E>1000 тс/м^2 , и его толщина будет удовлетворять условию 32(6) Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений;
- оба размера сторон подошвы фундамента превышают величину 10.0 м.

Определяется расчетная толщина линейно-деформируемого слоя (п.2.220 Пособия... [6]), после чего в её границах анализируются модули деформации. Переход на схему линейно-деформируемого слоя осуществляется, если в пределах расчетной толщины этого слоя суммарная толщина слоев с модулем деформации E<1000 тс/м^2 не превышает 20%.

Расчетная величина линейно-деформируемого слоя увеличивается на толщину слоя грунта с модулем деформации E<1000 тс/м^2, если этот слой расположен ниже уровня низа линейно-деформируемого слоя и его толщина не превышает 5,0 м. При большей толщине такого слоя расчет выполняется по схеме линейно-деформируемого полупространства.

Если глубина заложения подошвы фундамента относительно уровня планировки больше глубины заложения подошвы фундамента относительно естественного рельефа, то имеется насыпной слой грунта. Давление на любой глубине от насыпного слоя грунта принимается равным весу столба площадью 1м^2 этого слоя без затухания по глубине, так как принято, что насыпной слой находится на значительной площади. Большое влияние на величину осадки может оказать наличие нагрузки на прилегающие площади, если она приложена на значительной площади. Напряжение от собственного веса грунта (бытовое давление) на отметке подошвы фундамента определяется как при планировке срезкой (уровень планировки H нужно задать меньше уровня естественного рельефа H_z), так и при планировке подсыпкой (уровень планировки H нужно задать больше уровня естественного рельефа H_z).

Глубина сжимаемой толщи при расчете осадки определяется до уровня, в котором бытовое давление в пять раз превосходит дополнительное. Однако, если ниже этого уровня слой грунта имеет модуль деформации E<500тс/м^2, то этот слой включается в границу сжимаемой толщи. При большой толщине такого слоя граница сжимаемой толщи определяется до уровня, в котором бытовое давление в десять раз больше дополнительного.

Точность определения глубины сжимаемой толщи – до 1 мм, при этом нижний заданный слой считается большой толщины. На уровне кровли всех заданных слоев грунта, за исключением уровня подошвы фундамента, проверяется прочность грунтов в соответствии с п. 2.48 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98. Просадка основания считается в пределах заданной просадочной толщи. При первом типе просадочности величина просадки определяется только от нагрузок на основание и для всех заданных слоев грунта; при втором типе — от нагрузок на основание и собственного веса грунта до уровня, в котором бытовое давление равно начальному просадочному давлению, при этом нижней границей служит заданный уровень.

При определении коэффициента просадочности используется величина начального просадочного давления слоев грунта. При втором типе просадочности коэффициент просадочности принимается равным 1.

Для определения расчетного сопротивления основания значения φ_{II}, c_{II} и γ_{II} принимаются средневзвешенными для слоя грунта толщиной z ниже подошвы фундамента: z = b/2 при b<4,0 м и z=b/3 при b≥4,0 м.

Алгоритм выполнения расчета. Версия - СП 50-101-2004

При разработке программы использованы п.5.5.7; 5.5.8; 5.5.10; 5.5.11; 5.5.25; 5.5.31; 5.5.32; 5.5.33; 5.5.35; 5.5.36; 5.5.37; 5.5.38; 5.5.39; 5.5.40; 5.5.41; 6.1.11; 6.1.13; 6.1.15; 6.1.17; 6.1.18.

В отличие от СНиП 2.02.01-83* расчетная схема основания в любом случае принята в виде линейно-деформируемого полупространства. Поэтому для фундаментов с размерами в плане b>10,0 м при определении давлений учитывается уменьшение давления за счет вычитания бытового давления так же, как для фундаментов с небольшими размерами подошвы. Принято, что размеры котлована могут быть достаточно большими.

Согласно п.5.5.41 нижняя граница сжимаемой толщи основания принимается до уровня, в котором бытовое давление в пять раз превосходит дополнительное при ширине фундамента меньше или равном 5 м (k=0,2), в два раза – при ширине больше 20 м (k=0,5). В интервале ширины фундамента больше 5 и до 20 метров значение k определяется интерполяцией.

При этом глубина сжимаемой толщи принимается не меньше b/2 при b≤ 10,0 м и (4+0,1b) при b>10,0 м.

Согласно п.5.5.11 для определения расчетного сопротивления основания значения φ_{II}, c_{II} и γ_{II} принимаются средневзвешенными для слоя грунта толщиной z ниже подошвы фундамента: z=b/2 при b <10,0 м и z= 4+0,1b при b≥10м.

Основное отличие расчета осадки по СП 22.13330 и ДБН В.2.1-10-2009 от описанных выше методик состоит в учете влияния порового давления.

Подготовка данных

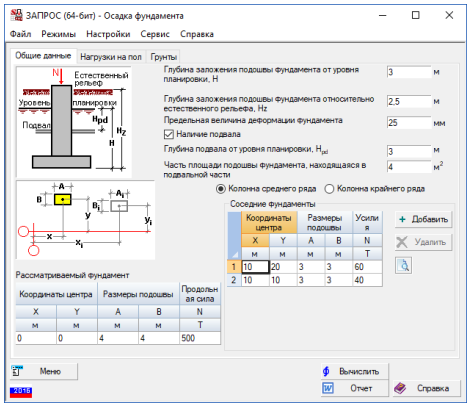


Рис. 16.3.2-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Осадка фундамента**

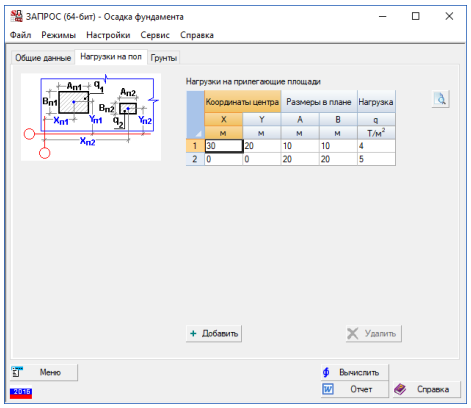


Рис. 16.3.2-2. *Страница* **Нагрузки на пол** *диалогового окна* **Осадка фундамента**

Исходные данные для расчета задаются в многостраничном диалоговом окне **Осадка фундамента**, которое включает следующие страницы:

Общие данные (рис. 16.3.2-1) — задаются характеристики рассматриваемого и соседних фундаментов и нормальная сила **N** (приложенная на обрезе фундамента) для рассматриваемого и соседних фундаментов. Введенная информация может быть проконтролирована кнопками **Предварительный просмотр**.

Нагрузки на пол — на этой странице назначаются нагрузки, которые описываются в виде прямоугольных областей. Для каждой области следует задать координаты привязки центра, размеры сторон прямоугольника и значение распределенной нагрузки (рис. 16.3.2-2).

Грунты — задаются расчетные характеристики грунтов для расчета по деформациям (рис. 16.3.2-3), а также дополнительные характеристики по просадке (рис. 16.3.2-4), набор которых зависит от типа просадочности. В частности, при первом типе просадочности количество суммарных (от внешних нагрузок и собственного веса грунта) давлений **P** задается от двух до пяти, а при втором — от трех до пяти. Кроме того, при втором типе просадочности в качестве первого значения относительной просадочности грунта (ε_1) должна обязательно задаваться величина относительной просадочности при бытовом давлении.

Отметим, что для водонасыщенных грунтов следует задать удельный вес частиц грунта, в противном случае — удельный вес грунта. При расчете по СП 22.13330.2016 следует всегда задавать удельный вес грунта.

Согласно СП 22.13330 следует учитывать поровое давление грунтовых вод. Если слой грунта находится в водонасыщенном состоянии и удовлетворяет требованиям п. 5.6.40 СП 22.13330.2011, пользователь может взвести маркер в

столбце "Учитывать поровое давление". При этом при расчете вертикального эффективного напряжения от собственного веса грунта будет учтено поровое давление на границе слоя. При расчетах по СП 22.13330.2016 поровое давление учитывается всегда.

Величина порового давления вычисляется на основании рекомендаций п. Б.1.2 СП 23.13330.2011.

При расчетах по СП 22.13330.2011 использовать маркер "Учитывать поровое давление" не рекомендуется, поскольку формулировки норм требуют использовать удельный вес водонасыщенных грунтов с учетом взвешивающего действия воды. Учет еще и порового давления приводит к двойному учету взвешивающего действия воды.

Эти ошибочные формулировки были исправлены только в СП 22.13330.2016.

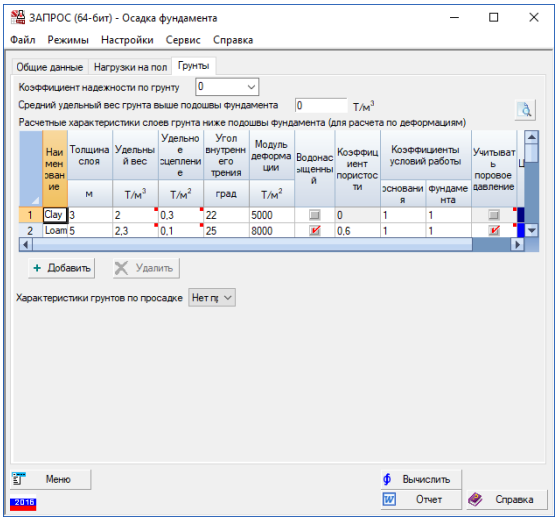


Рис. 16.3.2-3. *Страница* **Грунты** *диалогового окна* **Осадка фундамента** *без учета просадок*

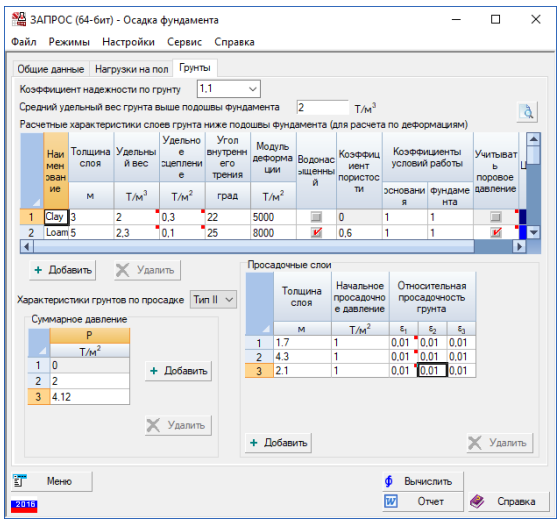


Рис. 16.3.2-4. *Страница* **Грунты** *диалогового окна* **Осадка фундамента** *при учете просадок*

Введенная на указанных страницах информация может быть проконтролирована кнопками **Предварительный просмотр** аналогично режиму расчета крена фундамента.

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результаты расчета в установленных в настройках единицах выдаются в табличном виде на странице **Результаты** (рис. 16.3.2-5) и включают следующие величины:

- расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента;
- среднее давление от нагрузок (включая вес тела фундамента, грунта и пола) в уровне подошвы фундамента;
- осадка основания;
- просадка от нагрузки;
- просадка от веса грунта;
- сумма осадки и просадки;

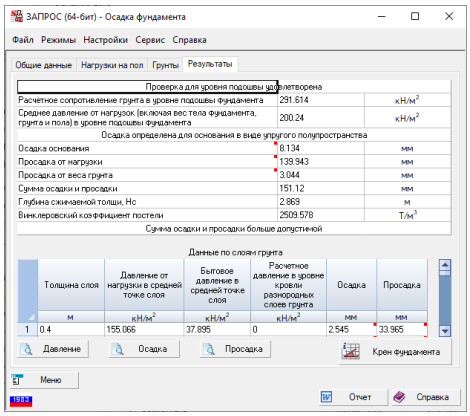


Рис. 16.3.2-5. *Страница* **Результаты** *диалогового окна* **Осадка фундамента**

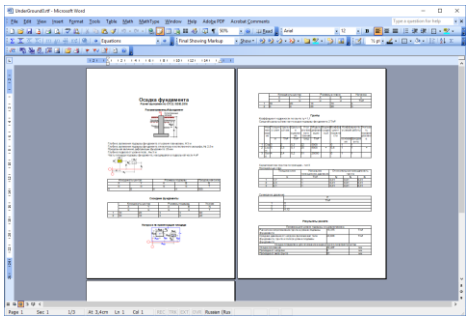


Рис. 16.3.2-6. *Представление отчета в окне редактора* **MS Word**

- глубина сжимаемой осадочной толщи;
- коэффициент постели Винклера.

Кроме того, выдаются сообщения, указывающие вид расчетной схемы основания, использованной для определения совместной деформации основания и сооружения — линейно деформируемого полупространства или линейно деформируемого слоя, а также характеризующие полученные результаты по различным факторам, например «Проверка для уровня подошвы удовлетворена (не удовлетворена)», «Условия по деформациям удовлетворены», «Осадка больше допустимой», «Условие по слабому слою не удовлетворено», «Сумма осадки и просадки больше допустимой».

Дополнительно выводятся данные по слоям грунта в пределах глубины сжимаемой толщи (максимальное количество слоев 20). При схеме основания в виде упругого полупространства для каждого слоя выдается:

- толщина слоя;
- давление от нагрузки в средней точке слоя;
- бытовое давление в средней точке слоя;
- расчетное давление в уровне кровли разнородных слоев грунта;
- осадка;
- просадка.

При схеме основания в виде слоя конечной толщины:

- толщина слоя;
- давление от полезной нагрузки и соседних фундаментов в уровне кровли слоя;
- расчетное давление в уровне кровли разнородных слоев грунта;
- осадка;
- просадка.

По результатам расчета формируется отчет (кнопка **Отчет**) (рис. 16.3.2-6).

16.3.3 Коэффициенты постели

Основные положения

Этот режим реализует вычисления, аналогичные тем, которые описаны в разделе 14 (программа Пастернак); различие состоит в том, что здесь предусмотрена возможность выбора еще одной модели – слоистого полупространства.

Для однородного в плане многослойного основания, состоящего из конечного числа слоев, каждый из которых является линейно-деформируемым и постоянным по толщине (h_i), коэффициенты жесткости основания могут быть определены по методике, предложенной М.И. Горбуновым-Посадовым, В.З. Власовым и П.Л. Пастернаком (см. [1], [2], [3], [4], СП 50-101-2004). В программе предусмотрены два режима вычисления коэффициентов — по модели Пастернака (рис. 16.3.3-1) и по модели слоистого полупространства [5] (рис. 16.3.3-2). В обоих случаях определяются коэффициенты постели C_1 (коэффициент сжатия) и C_2 (коэффициент сдвига).

Для модели слоистого полупространства приняты следующие зависимости:

коэффициент затухания осадок для k слоя грунта $\gamma_k = \dfrac{4(1-2\nu_k)}{\sqrt{\pi A}(1-\nu_k)^2}$,

где A — фактическая площадь опирания сооружения;

константа $B_k = \begin{cases} 1 & при \quad k=1 \\ B_{k-1}e^{-(\gamma_{k-1}h_{k-1})} & при \quad k>1 \end{cases}$.

Тогда коэффициенты постели, соответственно, равны:

$$C_1 = \sum_{k=1}^{n} \frac{E_k(1-\nu_k)\gamma_k B_k^2}{2(1+\nu_k)(1-2\nu_k)}\left(1-e^{-2\gamma_k h_k}\right);$$

$$C_2 = \sum_{k=1}^{n} \frac{E_k B_k^2}{4(1+\nu_k)\gamma_k}\left(1-e^{-2\gamma_k h_k}\right).$$

Подготовка данных и расчет

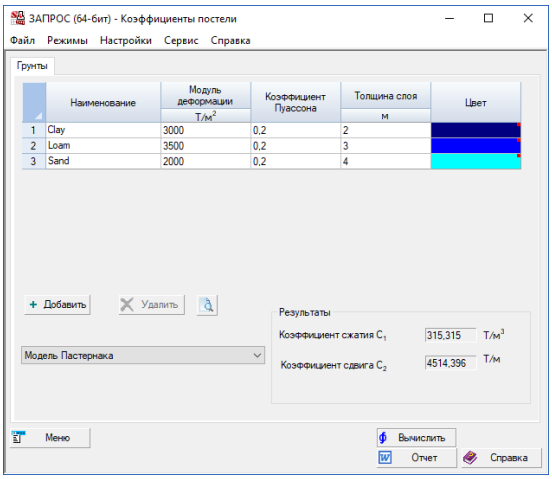


Рис. 16.3.3-1. *Диалоговое окно* **Коэффициенты постели** при расчете по модели Пастернака

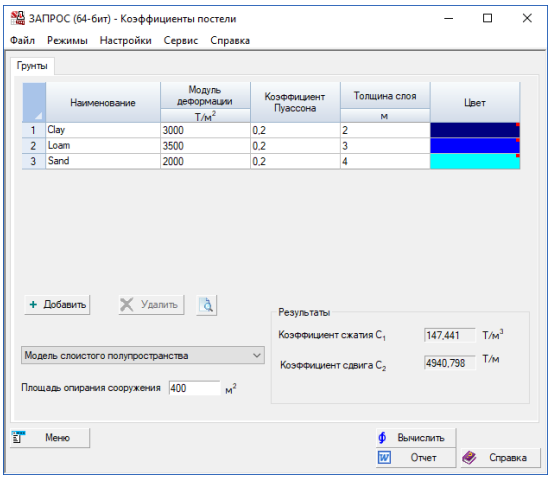


Рис. 16.3.3-2. *Диалоговое окно* **Коэффициенты постели** при расчете по модели слоистого полупространства

Вид модели выбирается в одноименном выпадающем списке. Характеристики слоев грунта вводятся в таблице в порядке возрастания глубины[10]. Если используется модель слоистого полупространства, то дополнительно к характеристикам грунта задается площадь опирания сооружения. Значения коэффициентов выдаются в соответствующих полях после нажатия кнопки **Вычислить**.

[10] Податливость грунтового основания (и коэффициенты постели) выражаются через модуль деформации грунта, если нагрузка на основание действует длительное время и неупругая часть осадки грунта успевает реализоваться. При кратковременных динамических нагрузках податливость основания определяется модулем упругости грунта. В программе наименование соответствущей колонки (модуль деформации) не меняется и пользователь должен сам на основании типа нагрузки принять решение об использовании модуля упругости или модуля деформации.

16.3.4 Предельное давление при расчете деформаций

Основные положения

Режим предназначен для вычисления предельного давления под подошвой фундамента (расчетного сопротивления грунта) при расчете деформаций с использованием расчетной схемы основания в виде линейно деформируемого полупространства или линейно деформируемого слоя (п.2.41 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98, п. 5.5.8 СП 50-101-2004, п. 5.6.7 СП 22.13330, п. Е.4 ДБН В.2.1-10-2000).

Подготовка данных и расчет

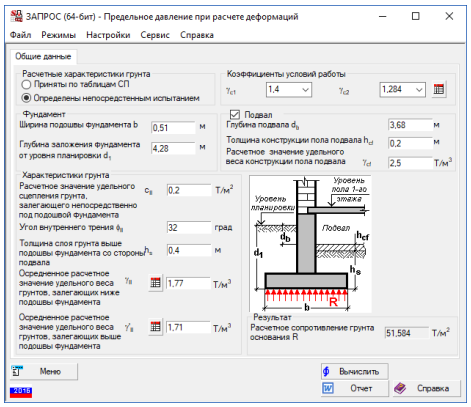


Рис. 16.3.4-1. *Диалоговое окно* **Предельное давление при расчете деформаций**

Исходные данные для расчета задаются в диалоговом окне **Предельное давление при расчете деформаций** (рис. 16.3.4-1), которое содержит пять групп данных.

В группе **Расчетные характеристики грунта** с помощью маркеров определяется способ получения характеристик — по таблицам нормативных документов или по результатам испытаний.

В группе **Коэффициенты условий работы** из выпадающих списков выбираются значения коэффициентов γ_{c1} и γ_{c2}. Таблица, определяющая значения этих коэффициентов в зависимости от вида грунта и соотношений размеров сооружения, приведена в одноименном информационном режиме. Предусмотрена возможность определения значений этих коэффициентов в диалоговом окне **Коэффициенты условий работы** (рис. 16.3.4-2), которое вызывается кнопкой , стоящей справа от выпадающих списков.

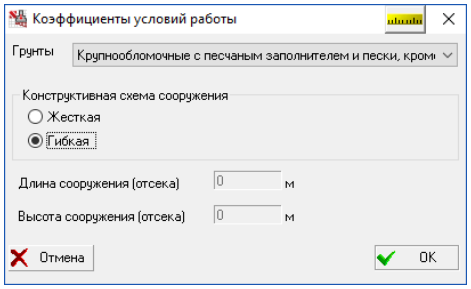


Рис. 16.3.4-2. *Диалоговое окно* **Коэффициенты условий работы**

В группах **Фундамент**, **Подвал** и **Характеристики грунта** задаются соответствующие данные. При этом осредненное расчетное значение удельного веса пакета грунтов ниже и выше подошвы фундамента может быть получено с помощью «калькулятора» **Пакет грунтов** (рис. 16.3.4-3), который вызывается нажатием кнопки , стоящей слева от поля ввода данных.

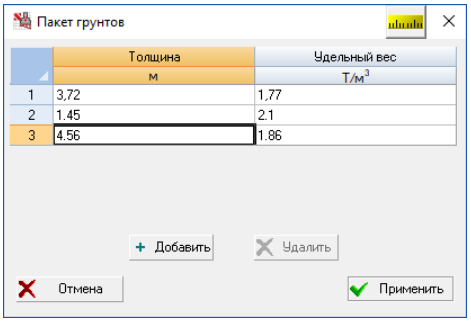


Рис. 16.3.4-3. *Диалоговое окно* **Пакет грунтов**

Для описания пакета грунтов следует с помощью кнопки **Добавить** ввести в таблицу нужное количество строк и задать данные по толщине и удельному весу каждого слоя грунта. Нажать кнопку **Применить**, после чего окно закроется, и значение удельного веса будет записано в соответствующее поле ввода.

Расчет активизируется нажатием кнопки **Вычислить**.

Ограничение реализации

При расчете не реализованы требования п. 2.41 СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98 — предполагается, что ширина подвала не превышает 20 м.

16.4 Сваи

В этом разделе выполняются информационные и расчетные режимы, связанные с проектированием свай.

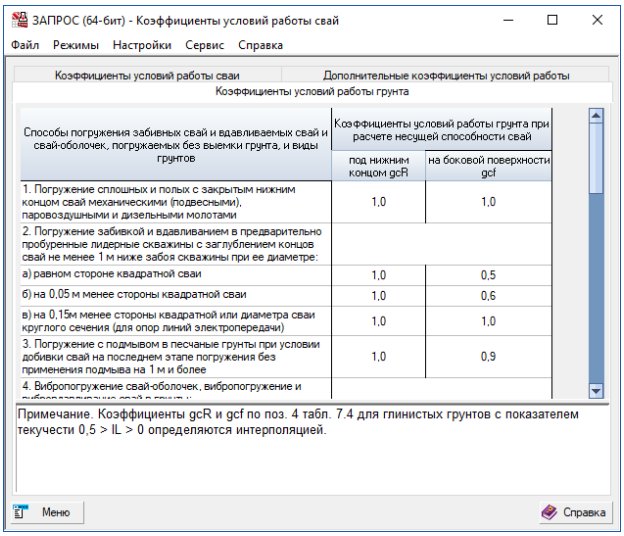


Рис. 16.4-1. *Диалоговое окно* **Коэффициенты условий работы свай**

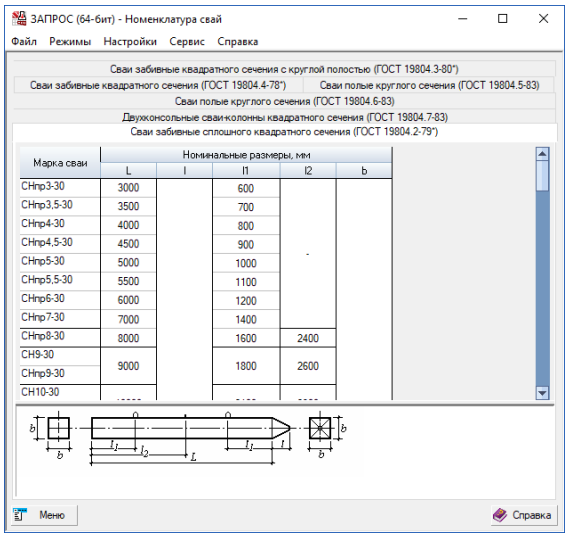


Рис. 16.4-2. *Диалоговое окно* **Номенклатура свай**

16.4.1 Коэффициенты условий работы свай

Приводятся сведения (рис. 16.4-1) о коэффициентах условий работы грунта (таблица 3 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98, таблица 7.3 СП 50-102-2003, таблица 7.4 СП 24.13330.2011), коэффициентах условий работы свай (таблица 5 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98, таблица 7.5 СП 50-102-2003, таблица 7.6 СП 24.13330.2011) и дополнительных коэффициентах условий работы (таблица 19 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98, таблица 13.1 СП 50-102-2003, таблица 14.1 СП 24.13330.2011). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то данные о коэффициентах условий работы свай приводятся в соответствии с изменением № 1 к этому ДБН.

16.4.2 Номенклатура свай

В табличном виде (рис. 16.4-2) представлены марка и характеристики сплошных и полых свай квадратного и круглого сечения, соответствующих ГОСТ 19804.3-80*, 19804.4-78*, 19804.5-83*, 19804.6-83*, 19804.7-83*, 19804.2-79*.

16.4.3 Расчет несущей способности сваи

В этом режиме определяется несущая способность свай-стоек и висячих свай, работающих на вертикальную сжимающую нагрузку F_d и вертикальную выдергивающую нагрузку F_{du}. Рассматриваются

забивные, набивные, буровые сваи, а также сваи-оболочки в соответствии с требованиями раздела 4 СНиП 2.02.03–85 (раздел 7.2 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011, раздел 8.1 Инструкции по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений в г. Москве), а также с требованиями раздела 5 Руководства по проектированию свайных фундаментов. При определении несущей способности свай учтены особенности их проектирования в сейсмических районах (раздел 11 СНиП 2.02.03–85, раздел 12 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011 и раздел 12 Руководства по проектированию свайных фундаментов). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то учтены требования п. Н.7 приложения Н этого ДБН.

В расчете учитывается возможное наличие (устройство) на конце свай уширения, а также сохранение или удаление грунтового ядра в сваях-оболочках при заполнении их внутренней полости бетоном. Учитывается также возможность планировки прилегающей территории (срезкой, подсыпкой или намывом), а также наличие котлована в месте устройства сваи. Коэффициенты условий работы сваи в грунте γ_c, под нижним концом сваи γ_{cr}, а также по боковой поверхности сваи γ_{cf} задаются пользователем самостоятельно (при этом есть возможность выбора этих коэффициентов из представленного набора).

Подготовка данных

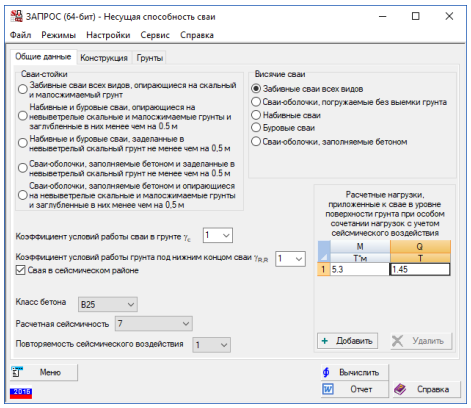


Рис. 16.4.3-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Несущая способность сваи**

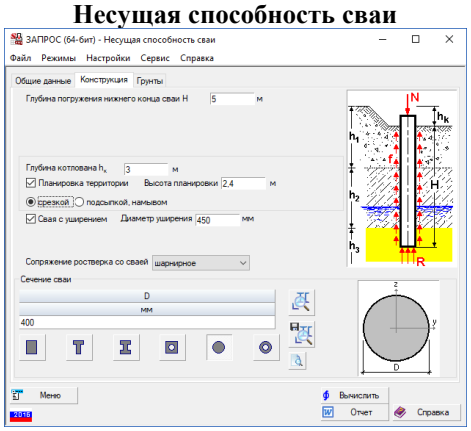


Рис. 16.4.3-2. *Страница* **Конструкция**

На странице **Общие данные** (рис. 16.4.3-1) в группе **Сваи-стойки** или **Висячие сваи** указывается вид сваи. В зависимости от вида сваи из выпадающих списков выбираются значения коэффициента надежности грунта γ_g, коэффициентов условий работы сваи в грунте γ_c и грунта под нижним концом сваи γ_{cR}.

Если площадка строительства находится в сейсмическом районе и указана висячая свая, то следует активировать соответствующий маркер и выбрать в появившихся списках класс бетона, расчетную сейсмичность площадки и повторяемость сейсмического воздействия, а также задать в таблице значения расчетных нагрузок (M и Q), приложенных к свае в уровне поверхности грунта при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмического воздействия. Для сваи-стойки дополнительные данные не требуются, и для учета сейсмического района достаточно активировать маркер.

Следует обратить внимание, что в существующей редакции СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах отсутствует информация о повторяемости землетрясений, хотя в таблице 12.1 Свода правил (СП 52-101-2003) есть ссылка на эти данные. Вероятно, эти данные следует брать из старой редакции СНиП II-7-81*.

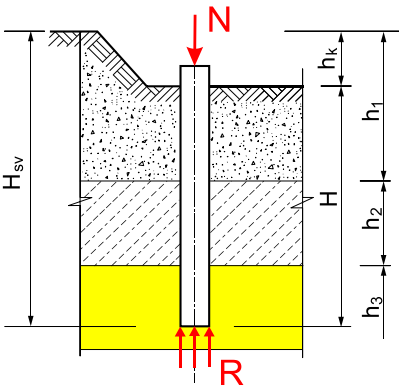
На странице **Конструкция** (рис. 16.4.3-2) в зависимости от выбранного типа сваи назначается сечение сваи и его размеры, а также вводятся дополнительные данные. Для различных видов сваи-стойки это может быть глубина заделки сваи в скальный грунт и, если свая полая, высота заполнения полости бетоном.

Для висячих свай к дополнительным данным относятся также глубина погружения нижнего конца сваи, глубина котлована, параметры планировки территории, а для сваи с уширением — диаметр уширения и характер сопряжения сваи с ростверком (шарнирное или жесткое).

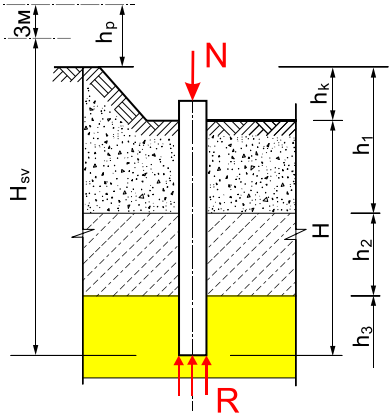
При задании размеров сечения сваи предусмотрена возможность

сохранить их под уникальным именем в базе данных (кнопка), а также загрузить из базы (кнопка). Контроль сечения выполняется нажатием кнопки **Предварительный просмотр** .

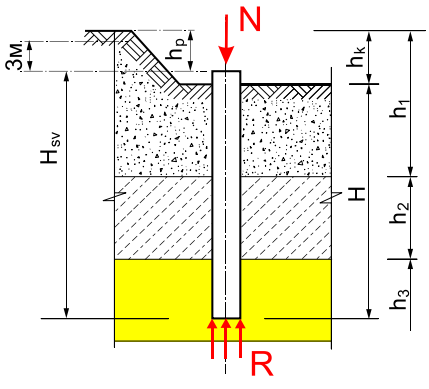
Глубина погружения нижнего конца сваи при отсутствии планировки территории (а также при планировке территории срезкой, подсыпкой, намывом до 3 м) отсчитывается от уровня природного рельефа (уровня земли), а при срезке, подсыпке, намыве от 3 до 10 м – от условной отметки, расположенной соответственно на 3 м выше уровня срезки или на 3 м ниже уровня подсыпки, намыва.



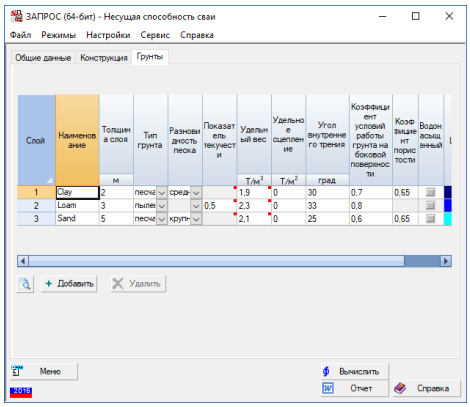
Без планировки территории и при планировке территории (h_p<3м)



Планировка территории подсыпкой, намывом (h_p>3м)



Планировка территории срезкой (h_p>3м)



Характеристики грунтов задаются в таблице на одноименной странице (рис. 16.4.3-3). Перед вводом характеристик очередного слоя грунта (включая первый) следует нажать кнопку **Добавить**, после чего в таблице будет добавлена новая строка. Тип грунта выбирается из списка. Если выбран песчаный грунт, то в списке столбца **Разновидность песка** устанавливается его вид.

Рис. 16.4.3-3. *Страница* **Грунты**

Для пылевато-глинистых грунтов необходимо задать показатель текучести. Для удаления строки или нескольких подряд идущих строк необходимо отметить эти строки (установить курсор на номер слоя и нажать левую кнопку мыши; не отпуская кнопку, провести курсором по номерам других удаляемых слоев) и нажать кнопку **Удалить**.

Поскольку при расчете несущей способности сваи СНиП требует информацию о том, является ли тот или иной слой песчаного грунта плотным, — в таблице грунтов для песков запрашивается информация о коэффициенте пористости. Вывод о плотности делается на основании рекомендаций таблицы 10 Пособия к СНиП [6].

Если висячая свая расположена в сейсмическом районе, то для песчаных грунтов следует дополнительно задать информацию о водонасыщенности того или иного слоя (маркер **Водонасыщенность** в соответствующих строках таблицы грунтов).

Контроль заданного пакета грунтов выполняется нажатием кнопки **Предварительный просмотр** .

Результаты расчета

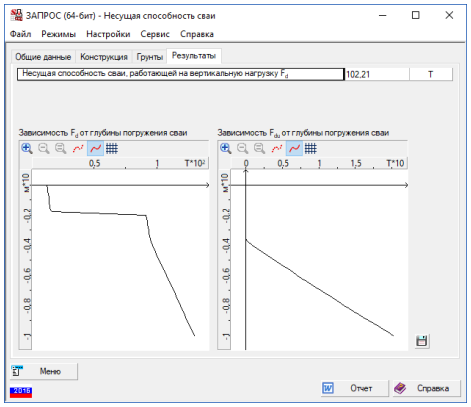


Рис. 16.4.3-4. *Страница* **Результаты** *диалогового окна* **Несущая способность сваи**

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результаты расчета в установленных в настройках единицах выдаются на странице **Результаты** (рис. 16.4.3-4) и включают следующие величины:

а) для сваи-стойки — несущая способность сваи, работающей на вертикальную нагрузку F_d;

б) для висячей сваи — несущая способность сваи, работающей на вертикальную нагрузку F_d, и несущая способность сваи, работающей на выдергивающую нагрузку F_{du}. Кроме того, для висячих свай строятся графики зависимости F_d и F_{du} от глубины погружения сваи.

По результатам расчета может быть сформирован отчет (кнопка **Отчет**), описание см. раздел 2.5 **Формирование отчета**.

Ограничения реализации

1. Не рассматриваются забивные сваи, опирающиеся нижним концом на рыхлые песчаные грунты или на пылевато-глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0{,}6$.
2. Не рассматриваются пирамидальные, трапецеидальные, ромбовидные, винтовые и бурозавинчивающиеся сваи.
3. Не учтены примечания 4–7 к табл. 1 (табл. 7.1 СП 50-102-2003, табл. 7.2 СП 24.13330.2011), примечания 3–4 к табл. 2 (табл. 7.2 СП 50-102-2003, табл. 7.3 СП 24.13330.2011), а также примечания к табл. 7 СНиП 2.02.03–85 (табл. 7.7 СП 50-102-2003, табл. Н.3.3 ДБН В.2.1-10-2009).
4. Не учитываются отрицательные (негативные) силы трения грунта на боковой поверхности свай.

Несущая способность сваи по сопротивлению материала ствола

Проверка несущей способности сваи по сопротивлению материала ствола выполняется с учетом требований пунктов 3.7 и 3.8 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (пп. 7.1.8, 7.1.9 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011). При этом по п. 3.7 учитывается только первый абзац и длина участка сваи от подошвы высокого ростверка до уровня планировки грунта принята равной нулю (l_0=0).

Проверка прочности материала сваи выполняется в режиме **Сопротивление ж/б сечений** программы **АРБАТ**. Из программы **ЗАПРОС** в **АРБАТ** передаются тип сечения и размеры сваи, а также расчетная длина и характеристики тяжелого бетона с учетом коэффициента условий работы, учитывающего влияние способа производства свайных работ.

В этом режиме рекомендуется следующий порядок выполнения операций:

- инициализировать в программе **ЗАПРОС** режим Несущая способность сваи;
- задать исходные данные и выполнить расчет

- на странице **Результаты** нажать кнопку — **Сохранить данные** для анализа несущей способности по материалу в программе **АРБАТ**;
- в появившемся диалоговом окне **Дополнительные данные** указать способ производства свайных работ и нажать кнопку **ОК**;
- в диалоговом окне указать директорию и имя файла (с расширением **.sav**), в котором сохраняются данные, необходимые для проверки несущей способности;
- загрузить программу **АРБАТ** и инициализировать режим **Сопротивление ж/б сечений;**
- в разделе меню **Файл** выбрать операцию **Открыть** и загрузить ранее указанный файл, сформированный программой **ЗАПРОС**;
- дополнить недостающие данные, необходимые для проверки сечения сваи (класс продольной и поперечной арматуры, величину защитного слоя, положение, диаметр и количество стержней продольной арматуры, диаметр, шаг, и количество стержней поперечной арматуры);
- выполнить анализ кривых взаимодействия.

Проверка сваи по материалу ствола выполняется как для железобетонного элемента, согласно требований СНиП или СП, регламентирующих расчет железобетонных конструкций (см. п. 3.6 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98, п. 7.1.7 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011).

16.4.4 Расчет сваи

Режим предназначен для расчета свай на совместное действие вертикальной и горизонтальной сил и момента в соответствии с требованиями СНиП 2.02.03–85 (СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011). Расчет производится с учетом возможности развития первой и второй стадии напряженно-деформированного состояния грунта согласно рекомендуемому приложению 1 к СНиП 2.02.03–85, приложению Д СП 50-102-2003, приложению В СП 24.13330.2011, а также с учетом особенностей проектирования свай в сейсмических районах. Определяется несущая способность свай в случае возможности развития второй стадии напряженно-деформированного состояния грунта, устойчивость основания, а также деформации свай, включающие определение горизонтального перемещения головы сваи и угла ее поворота. При расчете согласно приложению Д к СП 50-102-2003 (приложению В СП 24.13330.2011, п. 8.5.4.9 и п. Н.8 приложения Н ДБН) рассматривается только первая стадия напряженно-деформированного состояния грунта (грунт, окружающий сваю, рассматривается как упругая линейно-деформируемая среда).

Приложение нагрузки при расчете рассматривается только в одной силовой плоскости. При этом учитывается конструкция ростверка (высокий или низкий), сопряжения ростверка со сваей (шарнирное или жесткое), расположение свай в фундаменте с ростверком (однорядное или многорядное). Работа сваи в составе куста свай при этом не рассматривается (п.11 приложения 1 СНиП 2.02.03–85 и аналогичные пункты СП).

В СП 24.13330.2011 отсутствуют конкретные формулы для вычисления деформаций сваи, значений моментов и перерезывающих сил и т.д. Авторы СП 24.13330.2011 предлагают производить расчет сваи как балки на упругом основании с коэффициентом постели, значения которого следует определять по приложению В СП 24.13330.2011. Задача о поведении балки, лежащей на упругом основании, не имеет точного аналитического решения, поэтому в программе **ЗАПРОС** используется приближенное решение, которое приведено в приложении 1 к СНиП 2.02.03–85.

Подготовка данных

На странице **Общие данные** (рис. 16.4.4-1) в группе **Сваи-стойки** или **Висячие сваи** указывается вид сваи. Для всех видов свай задаются следующие данные:

- коэффициент надежности γ_k (по умолчанию – 1.4);
- расчетные нагрузки, приложенные к свае в уровне поверхности грунта и коэффициент надежности по нагрузке;
- доля временной части в общем моменте в сечении фундамента на уровне нижнего конца сваи.

Кроме того, указываются класс бетона сваи, расположение свай в фундаменте с ростверком (однорядное или многорядное), конструкция ростверка (низкий или высокий). Для всех видов свай, кроме забивных, предусмотрена возможность учета заделки нижнего конца сваи.

Если площадка строительства находится в сейсмическом районе, следует активировать соответствующий маркер, а также в таблице нагрузок указать значения расчетных нагрузок, приложенных к свае в уровне поверхности грунта при особом их сочетании с учетом сейсмического воздействия.

Специальный маркер позволяет учесть изменение № 2 к СП 24.13330.2011.

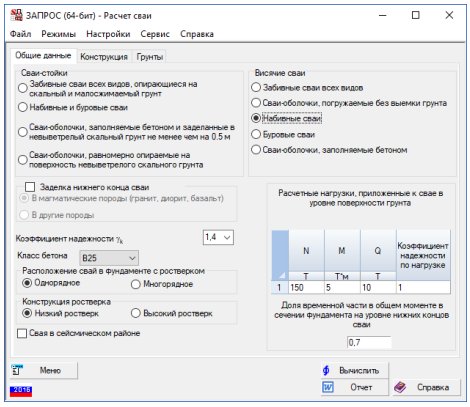


Рис. 16.4.4-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Расчет сваи**

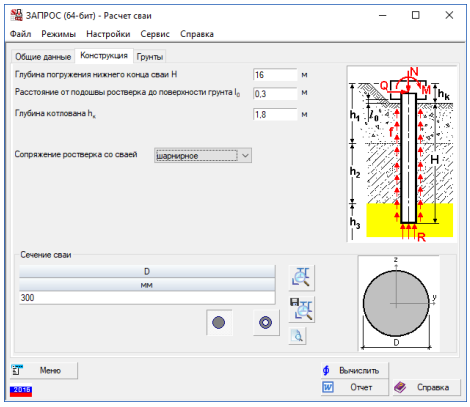


Рис. 16.4.4-2. *Страница* **Конструкция**

На странице **Конструкция** (рис. 16.4.4-2) в зависимости от выбранного типа сваи назначается сечение сваи и его размеры (для забивных свай предусмотрены сечения в виде прямоугольника, тавра, двутавра, квадрата с круглой полостью, круга и кольца, для остальных видов свай — только кольцевые и круглые сечения), указывается вид сопряжения ростверка со сваей (шарнирное или жесткое), а также вводятся следующие дополнительные данные:

- глубина погружения нижнего конца сваи;
- расстояние от подошвы ростверка до поверхности грунта;
- глубина котлована;
- предельный изгибающий момент, воспринимаемый поперечным сечением сваи, с учетом продольных сил (только в случае многорядного расположения свай в фундаменте с ростверком).

Для сечений, имеющих различные геометрические характеристики в разных силовых плоскостях, расчет следует выполнять раздельно для каждой силовой плоскости, задавая соответствующие значения нагрузок в таблице на странице **Общие данные**. Силовая плоскость назначается с помощью кнопок в одноименной группе.

Характеристики грунтов задаются в таблице на одноименной странице по тем же правилам, что и в режиме **Несущая способность сваи**.

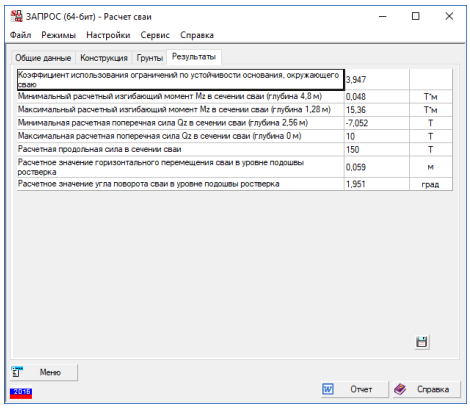


Рис. 16.4.4-3. *Страница* **Результаты**

При задании размеров сечения сваи предусмотрена возможность сохранить их под уникальным именем в базе данных (кнопка), а также загрузить из базы (кнопка).

Контроль сечения выполняется нажатием кнопки **Предварительный просмотр** .

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результаты расчета в установленных в настройках единицах выдаются на странице **Результаты** (рис. 16.4.4-3) и включают следующие величины:

- расчетный момент в заделке, действующий в месте сопряжения сваи с ростверком;
- коэффициент использования ограничений по устойчивости основания;
- минимальный расчетный изгибающий момент в сечении сваи;
- максимальный расчетный изгибающий момент в сечении сваи;
- минимальная расчетная поперечная сила в сечении сваи;
- максимальная расчетная поперечная сила в сечении сваи;
- расчетная продольная сила в сечении сваи;
- расчетное значение угла поворота сваи в уровне подошвы ростверка;
- расчетное значение горизонтального перемещения сваи в уровне подошвы ростверка;
- коэффициент использования несущей способности сваи;
- расчетное значение угла поворота сваи в уровне поверхности грунта;
- расчетное значение горизонтального перемещения сваи в уровне поверхности грунта.

Так же, как в режиме **Несущая способность сваи**, имеется возможность передачи данных в программу **АРБАТ** для анализа несущей способности сваи по материалу.

16.4.5 Осадка сваи

Этот режим предназначен для определения осадки одиночной сваи согласно рекомендуемому приложению 4 к СНиП 2.02.03–85 (приложению И к СП 50-102-2003, п. 7.4.2, 7.4.3 СП 24.13330.2011). Рассматриваются одиночные сваи как с уширением, так и без уширения.

Согласно расчету п.9.2-9.4 Инструкции по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений в г. Москве [8] осадка одиночной сваи определяется без учета уширения ее нижнего конца (маркер **Свая с уширением** должен быть отключен).

Подготовка данных

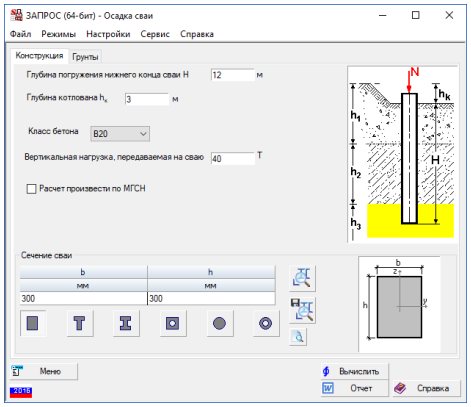


Рис. 16.4.5-1. *Страница* **Конструкция** *диалогового окна* **Осадка сваи**

На странице **Конструкция** (рис. 16.4.5-1) назначается сечение сваи (прямоугольник, тавр, двутавр, квадрат с круглой полостью, круг и кольцо) и его размеры, а также вводятся следующие дополнительные данные:

- глубина погружения нижнего конца сваи;
- глубина котлована;
- класс бетона;
- вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю.

Для свай круглого и кольцевого сечений предусмотрена возможность учета уширения сваи. Для этого следует активировать маркер **Свая с уширением**. Размер сечения участка сваи с уширением задается в поле **Диаметр уширения**.

При задании размеров сечения сваи предусмотрена возможность сохранить их под уникальным именем в базе данных (кнопка), а также загрузить из базы (кнопка). Контроль сечения выполняется нажатием кнопки **Предварительный просмотр** .

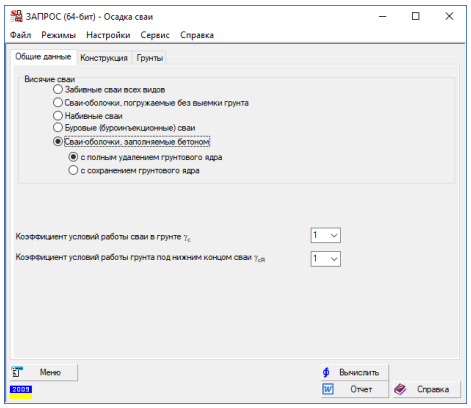


Рис. 16.4.5-2. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Осадка сваи**

При расчетах по ДБН дополнительно возникает страница **Общие данные** (рис. 16.4.5-2), на которой пользователь должен указать вид сваи и коэффициенты условий работы.

Грунты задаются по тем же правилам, что и в режиме **Несущая способность сваи**.

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результат расчета (величина осадки сваи) выдается на странице **Результаты**.

16.5 Полевые испытания свай

16.5.1 Динамические испытания свай

В этом режиме выполняется расчет, связанный с определением несущей способности свай по результатам их динамических испытаний в соответствии с требованиями пп. 5.3, 5.4, 5.7 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (пп. 7.3.3, 7.3.4, 7.3.7 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то расчет производится в соответствиями с требованиями ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Подготовка данных

В программе рассматриваются два способа погружения свай — ударным молотом (рис. 16.5.1-1,*а*) или вибропогружателем (рис. 16.5.1-1,*б*), а также два способа испытания свай — забивкой и добивкой или контролем по результатам производственной забивки.

а *б*

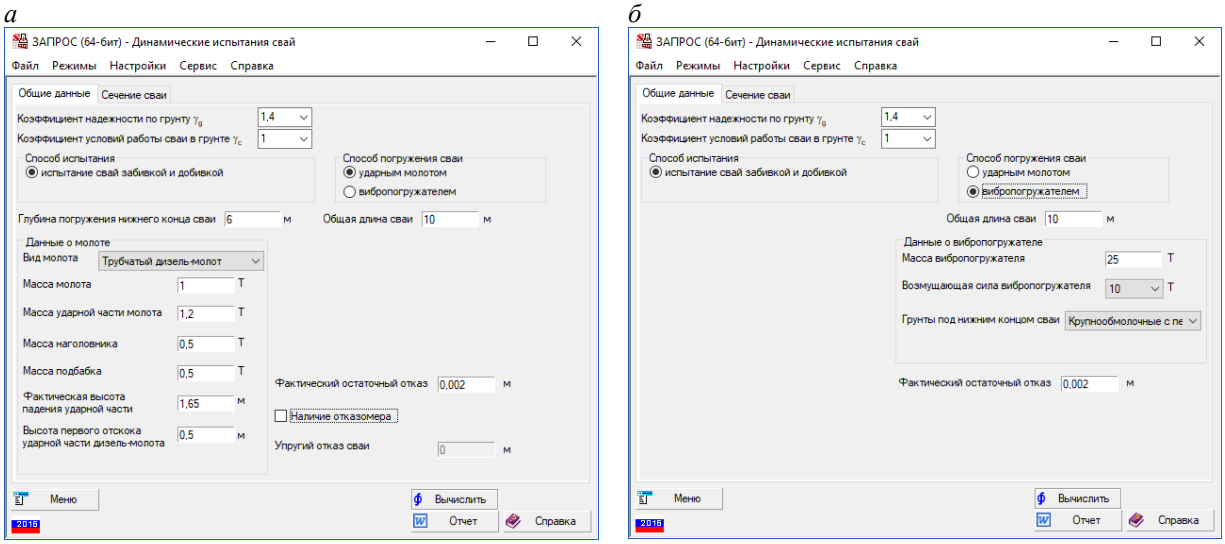


Рис. 16.5.1-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Динамические испытания свай**

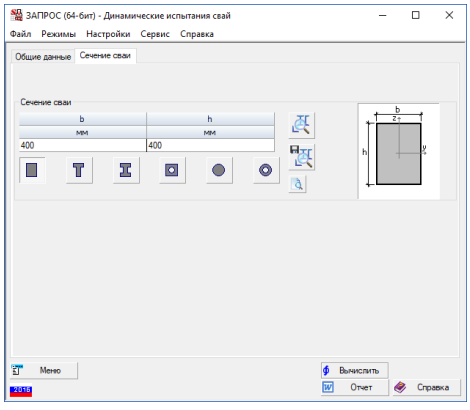


Рис. 16.5.1-2. *Страница* **Сечение сваи** *диалогового окна* **Динамические испытания свай**.

В зависимости от выбранного способа погружения сваи и способа ее испытания запрашиваются необходимые данные для выполнения расчета. Кроме того, предусмотрена возможность определения несущей способности свай при наличии данных отказомера.

Сечение сваи (прямоугольник, тавр, двутавр, квадрат с круглой полостью, круг и кольцо) и его размеры назначается на одноименной странице (рис. 16.5.1-2).

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результат расчета (несущая способность сваи) выдается на странице **Результаты**.

Ограничения реализации

При вычислении несущей способности сваи не учитываются примечания п.5.7 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (п. 7.3.7 СП 50-102-2003, СП 24.13330.2011 или примечания к п. 5.2.2 ДСТУ Б.В.2.1-27: 2010).

16.5.2 Испытание эталонной сваей

В этом режиме определяется несущая способность забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов эталонной сваей в соответствии с требованиями пп. 5.8, 5.9 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (пп. 7.3.8, 7.3.9 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то расчет производится в соответствиями с требованиями ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Натурная свая — обычная по материалу, конструкции и размеру свая, применяемая в строительстве.

Эталонная свая, представляющая собой инвентарную составную металлическую трубу, нижний конец которой закрыт коническим наконечником, согласно ГОСТ 24942-81 и ГОСТ 5686-94 должна иметь наружный диаметр 114 мм. В зависимости от конструкции соединения конического наконечника со стволом (трубой) эталонные сваи подразделяют на три типа:

тип I – с наконечником, наглухо соединенным со стволом сваи;

тип II – с наконечником, свободно перемещающимся относительно ствола сваи;

тип III – с наконечником, соединенным со стволом сваи через датчик усилия.

В зависимости от числа испытаний грунтов эталонной сваей и от изменчивости полученных частных значений предельного сопротивления сваи в местах испытаний грунтов эталонной сваей изменяется коэффициент надежности по грунту, который в программе вычисляется при значениях доверительной вероятности 0,95 в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-75.

Подготовка данных

Подготовку данных для расчета следует начать с задания типа эталонной сваи и количества испытаний грунтов. После этого в таблице "*Частное значение предельного сопротивления*" (рис. 16.5.2-1) появится соответствующее число строк.

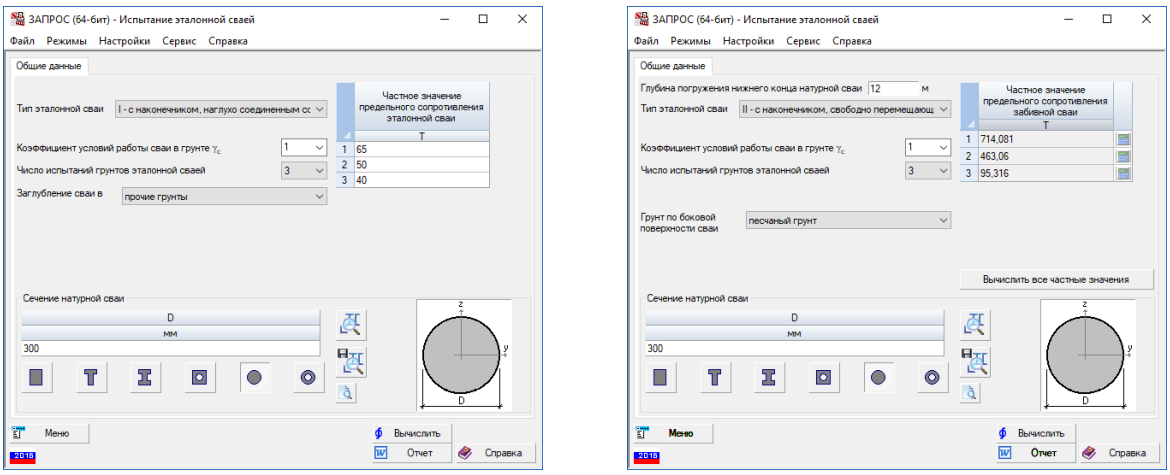


Рис. 16.5.2-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Испытания эталонной сваей**

При испытании грунтов эталонной сваей типа I для определения частного значения предельного сопротивления забивной сваи в месте испытания эталонной сваи F_u нужно непосредственно задать частное значение предельного сопротивления эталонной сваи $F_{u,sp}$, определяемое по результатам испытаний статической нагрузкой согласно п. 5.5 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (п. 7.3.5 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011).

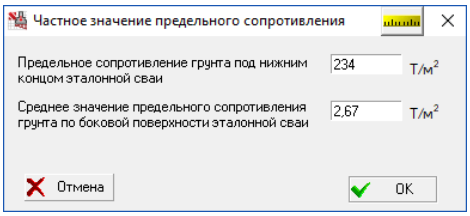


Рис. 16.5.2-2. *Диалоговое окно* **Частное значение предельного сопротивления**

При испытании грунтов эталонными сваями типов II и III частное значение предельного сопротивления забивной сваи в месте испытания эталонной сваи F_u вычисляется в зависимости от полученного при испытаниях предельного сопротивления грунта под нижним концом эталонной сваи, среднего значения предельного сопротивления грунта на боковой поверхности эталонной сваи, глубины погружения натурной сваи и размеров ее сечения. Все эти данные следует задать для каждого проведенного испытания в диалоговом окне (рис. 16.5.2-2), которое появляется при нажатии кнопки в соответствующей графе таблицы.

Для эталонных свай типа II и III частное значение предельного сопротивления для каждого испытания зависит от глубины погружения нижнего конца сваи и сечения натурной сваи. Поэтому при изменении этих параметров вычисленные ранее и занесенные в таблицу частные значения становятся некорректными и таблица очищается. Произвести пересчет всех частных значений можно, нажав кнопку **Вычислить все частные значения**.

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результат расчета (несущая способность сваи) выдается на странице **Результаты**.

Ограничения реализации

При вычислении несущей способности сваи не учитываются примечания п. 5.9, б СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (п. 7.3.9 б СП 50-102-2003, СП 24.13330.2011 или примечания п. 6.2 ДСТУ Б В.2.1-27:2010).

16.5.3 Испытание сваей-зондом

В этом режиме определяется несущая способность забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов сваей-зондом в соответствии с требованиями пп. 5.8, 5.10 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (пп. 7.3.8, 7.3.10 СП 50-102-2003 или СП 24.13330.2011). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то расчет производится в соответствиями с требованиями ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Натурная свая — обычная по материалу, конструкции и размеру свая, применяемая в строительстве.

Свая-зонд, согласно ГОСТ 5686-94, представляет собой инвентарную составную металлическую трубу наружным диаметром 127 мм с коническим наконечником и муфтой трения.

В зависимости от числа испытаний грунтов сваей-зондом и от изменчивости полученных частных значений предельного сопротивления сваи в местах испытаний грунтов сваей-зондом изменяется коэффициент надежности по грунту, который в программе вычисляется при значениях доверительной вероятности 0,95 в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-75.

Подготовка данных

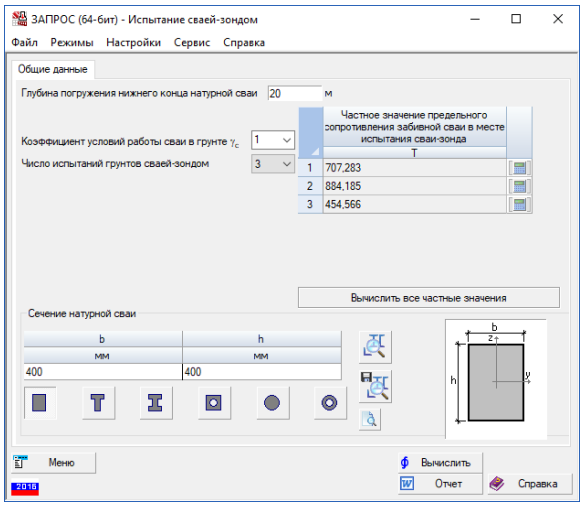


Рис. 16.5.3-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Испытания сваей-зондом**

Подготовку данных для расчета следует начать с задания количества испытаний грунтов. После этого в таблице **Частное значение предельного сопротивления** (рис. 16.5.3-1) появится соответствующее число строк.

Частное значение предельного сопротивления забивной сваи в месте испытания сваи-зонда F_u вычисляется в зависимости от полученного при испытаниях предельного сопротивления грунта под нижним концом сваи-зонда, среднего значения предельного сопротивления *i*-го слоя грунта на боковой поверхности сваи-зонда, размеров поперечного сечения натурной сваи и характеристик грунта на боковой поверхности. Все эти данные для каждого испытания следует задать в диалоговом окне (рис. 16.5.3-2), которое появляется при нажатии кнопки в соответствующей графе таблицы.

Как правило, данные серии испытаний весьма близки. Чтобы ускорить ввод информации, в программе предусмотрена возможность копирования данных о результатах одного испытания в другое с последующим внесением необходимых изменений. Для этого достаточно нажать кнопку **Скопировать данные** и в появившемся диалоговом окне (рис. 16.5.3-3) указать номер испытания, данные которого следует скопировать.

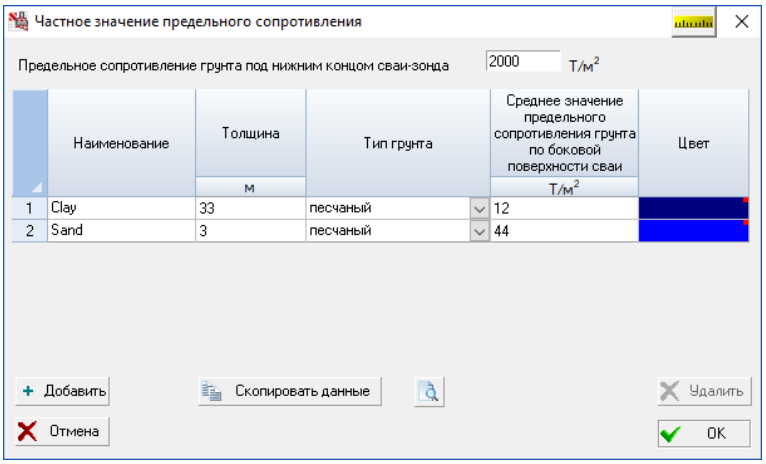


Рис. 16.5.3-2. *Диалоговое окно* **Частное значение предельного сопротивления**

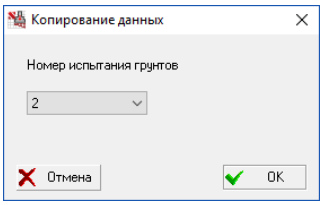


Рис. 16.5.3-3. *Диалоговое окно* **Копирование данных**

Частное значение предельного сопротивления для каждого испытания зависит от глубины погружения нижнего конца сваи и сечения натурной сваи. Поэтому при изменении этих параметров вычисленные ранее и занесенные в таблицу частные значения становятся некорректными и таблица очищается. Произвести пересчет всех частных значений можно, нажав кнопку **Вычислить все частные значения**.

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результат расчета (несущая способность сваи) выдается на странице **Результаты**.

16.5.4 Статическое зондирование

В этом режиме определяется несущая способность забивной (натурной) висячей сваи, работающей на сжимающую нагрузку, по результатам испытаний грунтов статическим зондированием в соответствии с требованиями пп. 5.8, 5.11 СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98 (пп. 7.3.8, 7.3.11 СП 50-102-2003 или пп. 7.3.8, 7.3.10 СП 24.13330.2011). Если в качестве норм проектирования выбран ДБН В.2.1-10-2009, то расчет производится в соответствиями с требованиями ДСТУ Б В.2.1-27:2010.

Натурная свая — обычная по материалу, конструкции и размеру свая, применяемая в строительстве.

В зависимости от конструкции наконечника зонды подразделяют на три типа:

тип I – зонд с наконечником из конуса и кожуха;

тип II – зонд с наконечником из конуса муфты трения;

тип III – зонд с наконечником из конуса муфты трения и уширителя.

Наружный диаметр штанги зонда типа I согласно ГОСТ 20069-81 должен быть равен 35,7 мм, а зондов II и III – назначается из конструктивных соображений, но принимается не более 55 мм.

В зависимости от числа точек зондирования и от изменчивости полученных частных значений предельного сопротивления сваи в местах испытаний статическим зондированием изменяется коэффициент надежности по грунту, который в программе вычисляется при значениях доверительной вероятности 0,95 в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-75.

Подготовка данных

Подготовку данных для расчета следует начать с задания типа зонда и количества испытаний грунтов. После этого в таблице “*Частное значение предельного сопротивления*” (рис. 16.5.4-1) появится соответствующее число строк.

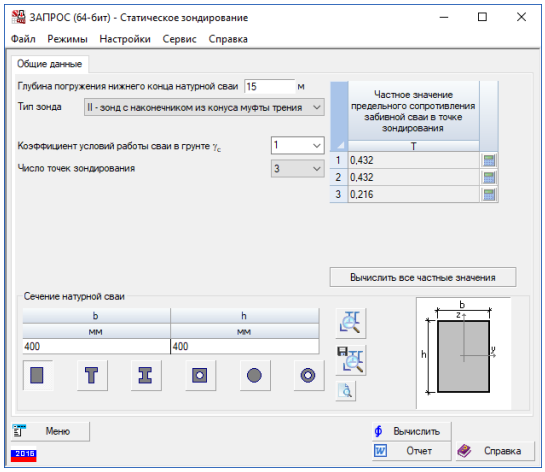


Рис. 16.5.4-1. *Страница* **Общие данные** *диалогового окна* **Статическое зондирование**

Частное значение предельного сопротивления забивной сваи в месте испытания зонда F_u вычисляется в зависимости от взятого непосредственно из испытаний среднего значения сопротивления грунта под наконечником зонда (расположенном в пределах одного диаметра/большей стороны выше и четырех диаметров/большей стороны ниже отметки острия проектируемой сваи), среднего значения предельного сопротивления ***i***-го слоя грунта на боковой поверхности зонда, глубины погружения натурной сваи, размеров поперечного сечения натурной сваи и характеристик грунта на боковой поверхности. Все эти данные для каждого испытания следует задать в диалоговом окне (рис. 16.5.4-2), которое появляется при нажатии кнопки в соответствующей графе таблицы.

Как правило, данные серии испытаний весьма близки. Чтобы ускорить ввод информации, в программе предусмотрена возможность копирования данных результатов одного испытания в другое с последующим внесением необходимых изменений. Для этого достаточно нажать кнопку **Скопировать данные** и в появившемся диалоговом окне (рис. 16.5.3-3) указать номер испытания, данные которого следует скопировать.

Частное значение предельного сопротивления для каждого испытания зависит от глубины погружения нижнего конца сваи и сечения натурной сваи. Поэтому при изменении этих параметров вычисленные ранее и занесенные в таблицу частные значения становятся некорректными и таблица очищается. Произвести пересчет всех частных значений можно, нажав кнопку **Вычислить все частные значения**.

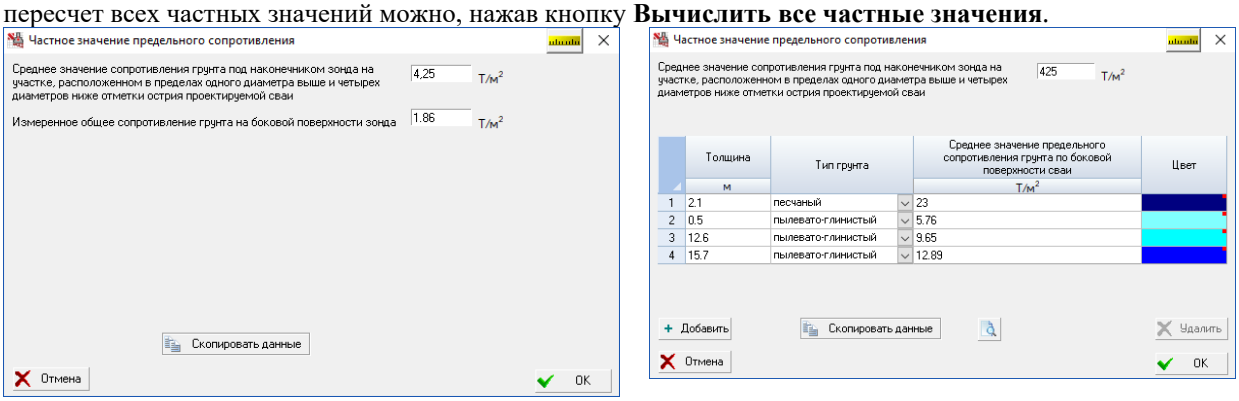


Рис. 16.5.4-2. *Диалоговое окно* **Частное значение предельного сопротивления**

Результаты расчета

Расчет выполняется после нажатия кнопки **Вычислить**. Результат расчета (несущая способность сваи) выдается на странице **Результаты**.

16.6 Нормативные документы, требования которых реализованы в программе ЗАПРОС

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов							
	СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98	**СП 50-101-2004**	**СП 22.13330. 2011**	**СП 22.13330. 2016**	**ДБН В.2.1-10-2009**	**СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98**	**СП 50-102-2003**	**СП 24.13330. 2011**
Предельные деформации оснований	Приложение 4	Приложение Е, табл. Е.1	Приложение Д, табл. Д.1	Приложение Г, табл. Г.1	Приложение И, табл. И.1	–	–	–
Расчетные сопротивления грунтов оснований	Приложение 3, табл. 1–6	Приложение Д, табл. Д.1–Д.10	Приложение В, табл. В.1–В.10	Приложение Б, табл. Б.1–Б.10	Приложение Е, табл. Е.1–Е.6	–	–	–
Характеристики грунтов	Приложение 1, табл. 1–3	Приложение Г, табл. Г.1–Г.7	Приложение Б, табл. Б.1–Б.8	Приложение А, табл. А.1–А.8	Приложение В, табл. В.1–В.3	–	–	–
Коэффициенты условий работы	табл. 3	табл. 5.2	табл. 5.4	табл. 5.4	Приложение Е.7, табл. Е.7	–	–	–
Крен фундамента	пп. 9-11 приложения 2	п.п. 5.5.43-5.5.45	п.п. 5.6.43-5.6.45	п.п. 5.6.43-5.6.45	п. Д.13 приложения Д	–	–	–
Осадка фундамента	пп. 2.39-2.40, пп. 1-8 приложения 2	п.п. 5.5.31-5.5.41	п.п. 5.6.31-5.6.41	п.п. 5.6.31-5.6.41	п.п. Д.1 – Д.10 приложения Д	–	–	–
Коэффициенты постели	–	–	–		–	–	–	–
Предельное давление при расчете деформаций	пп. 2.41-2.47	п.п. 5.5.8-5.5.14	п.п. 5.6.7-5.6.13	п.п. 5.6.7-5.6.13	п. Е.4 приложения Е	–		
Коэффициенты условий работы свай	–	–	–		Приложение Н, табл. Н.2.3, Н.3.1, Н.4.1	табл. 3, 5, 19	табл. 7.3, 7.5, 13.1	табл. 7.4, 7.6, 14.1

Режим	Ссылки на пункты норм и стандартов							
	СНиП 2.02.01-83*, КМК 2.02.01-98	**СП 50-101-2004**	**СП 22.13330. 2011**	**СП 22.13330. 2016**	**ДБН В.2.1-10-2009**	**СНиП 2.02.03-85, КМК 2.02.03-98**	**СП 50-102-2003**	**СП 24.13330. 2011**
Номенклатура свай	–	–	–		ГОСТ 19804.4-78*, 19804.2-79*, 19804.5-83, 19804.6-83, 19804.7-83	ГОСТ 19804.4-78*, 19804.2-79*, 19804.5-83, 19804.6-83, 19804.7-83	ГОСТ 19804.4-78*, 19804.2-79*, 19804.5-83, 19804.6-83, 19804.7-83	ГОСТ 19804.4-78*, 19804.2-79*, 19804.5-83, 19804.6-83, 19804.7-83
Несущая способность сваи	–	–	–		п.п. Н.1, Н.2, Н.3, Н.7	4.1, 4.2, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9	7.2.1, 7.2.2, 7.2.5, 7.2.6, 7.2.7, 7.2.8, 7.2.9	7.2.1, 7.2.2, 7.2.5, 7.2.6, 7.2.7, 7.2.8, 7.2.9
Расчет сваи	–	–	–		п. 8.5.4.9, п. Н.8.1 приложения Н	пп.1-15 Приложение 1	п.п. Д.1-Д.8 Приложение Д	п.п. В.1-В.7 Приложение В
Осадка сваи	–	–	–		п. П.1 приложения П	Приложение 4	Приложение И	Приложение Д
Динамические испытания свай	–	–	–		п. 5.2 ДСТУ Б В.2.1-27:2010	пп. 5.1-5.8	п.п. 7.3.1-7.3.8	п.п. 7.3.1-7.3.8
Испытания эталонной сваей	–	–	–		п. 6.1, 6.2 ДСТУ Б В.2.1-27:2010	пп. 5.1-5.6, 5.8, 5.9	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.9	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.9
Испытание сваей-зондом	–	–	–		п. 6.1, 6.3 ДСТУ Б В.2.1-27:2010	пп. 5.1-5.6, 5.8, 5.10	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.10	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.10
Статическое зондирование	–	–	–		п. 6.1, 6.4 ДСТУ Б В.2.1-27:2010	пп. 5.1-5.6, 5.8, 5.11	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.11	п.п. 7.3.1-7.3.6, 7.3.8, 7.3.11

16.7 Литература

[1] Власов В.З., Леонтьев Н.Н., Балки, плиты и оболочки на упругом основании, – М. Физматгиз, 1960, 491 с.

[2] Горбунов-Посадов М.И., Балки и плиты на упругом основании. – Машстройиздат, 1949.

[3] Медников И.А., Коэффициенты постели линейно-деформируемого многослойного основания, Основания, фундаменты и механика грунтов. 1967, – №4.

[4] Пастернак П.Л., Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954, 56 с.

[5] Пискунов В.Г., Федоренко Ю.М., Динамический метод контроля состояния слоистых плит на упругом основании. Архитектура и строительство Белоруси. – №5-6. – 1994. – с.10-22.

[6] Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1986.

[7] Шашкин К. Г., Использование упрощенных моделей основания для решения задач совместного расчета основания и конструкций сооружения. (http://www.georec.narod.ru/mag/1999n1/9.htm)

[8] Инструкция по проектированию и устройству свайных фундаментов зданий и сооружений в г. Москве. – Правительство Москвы: МОСКОМАРХИТЕКТУРА, 2001, 146 с.

17. Приложения

17.1 Сервисные функции

Поскольку при работе с программой часто возникает необходимость выполнить некоторые дополнительные расчеты, в разделе **Сервис** главного меню программ пакета предусматривается возможность вызова стандартного калькулятора среды MS Windows (если он установлен в системе), калькулятора, позволяющего выполнять расчеты по формулам, калькулятора для преобразования единиц измерения, а также специального калькулятора для выбора дискретной арматуры по заданной площади (в программе **АРБАТ**).

17.1.1 Вычисление по формулам

В разделе меню **Сервис** предусматривается возможность вызова как стандартного калькулятора среды MS Windows (если он установлен в системе), так и специального вычислителя (рис. 17.1.1-1), позволяющего выполнять расчеты по формулам.

Вычислитель предназначен для проведения вычислений по формулам, которые задаются пользователем в окне ввода.

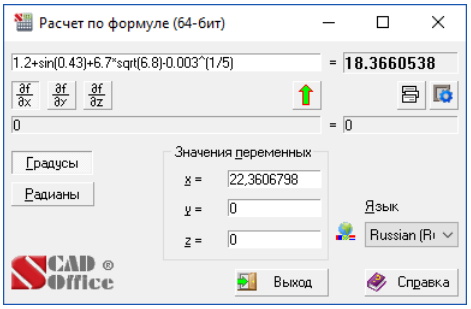


Рис. 17.1.1-1. Окно вычислителя

При вводе формул следует соблюдать следующие правила:

- наименования функций вводятся строчными буквами латинского алфавита;
- разделителем дробной и целой частей числа является точка;
- арифметические операции задаются символами +, –, *, /, ^ (возведение в степень), например, 2.5*2.5*2.5 записывается как 2.5^3.

При записи формул можно использовать следующие функции:

floor — наибольшее целое число, не превышающее заданное;
tan — тангенс;
sin — синус;
cos — косинус;
asin — арксинус;
acos — арккосинус;
atan — арктангенс;
exp — экспонента;
ceil — наименьшее целое число, превышающее заданное;
tanh — тангенс гиперболический;
sinh — синус гиперболический;
cosh — косинус гиперболический;
ln — натуральный логарифм;
log — десятичный логарифм;
abs — абсолютное значение;
sqrt — корень квадратный.

В зависимости от состояния переключателя **Градусы/Радианы** аргументы тригонометрических функций (**sin, cos,**

tan) и результаты обратных тригонометрических функций (**asin, acos, atan**) приводятся в градусах или радианах, соответственно.

Допускается использование только круглых скобок при произвольной глубине вложенности.

Пример.
Формула

$$1,2+\sin(0,43)+6,7\sqrt{6,8}-\sqrt[5]{0,003}$$

должна быть записана следующим образом:

1.2+sin(0.43)+6.7*sqrt(6.8)–0.003^(1/5).

Если в соответствующих окнах ввода задать значения переменных, то появляется дополнительная возможность использовать в формуле три независимые переменные **x, y, z.** Это позволяет проводить серию однотипных вычислений при различных значениях параметров. Например, в этом режиме формула

$$1,2+\sin(x)+6,7\sqrt{6,8}-\sqrt[5]{y}$$

должна быть записана в виде

1.2+sin(x)+6.7*sqrt(6.8)–y^(1/5).

Кроме того, программа позволяет записать в поле ввода формул символическое выражение, зависящее от переменных **x, y, z** и нажатием на одну из кнопок , , получить символическое выражение для соответствующей частной производной.

Операция позволяет сохранить текущее состояние строки с формулой и соответствующие значения переменных, а также загрузить ранее сохраненные данные. После активизации операции появляется выпадающее меню, выбор первой позиции которого (**Сохранить**) инициирует сохранение введенной информации. В остальных строках отображаются ранее записанные формулы. Для выбора любой из них достаточно выбрать курсором нужную строку.

Кнопка позволяет вызвать окно настройки для установки числа знаков после запятой при выводе результатов расчета.

17.1.2 Преобразование единиц измерения

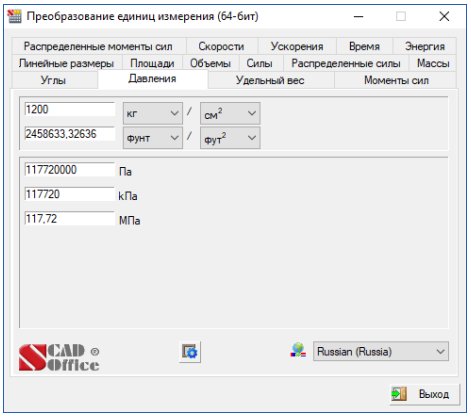


Рис. 17.1.2-1. *Окно* **Преобразование единиц измерения**

Программа предназначена для преобразования данных, заданных в различных единицах измерений (рис. 17.1.2-1). Для выполнения операции необходимо выбрать страницу с соответствующими мерами (**Длина**, **Площадь** и т.д.).

Порядок выполнения операций преобразования зависит от того, являются ли единицы измерения простыми (например, длина, площадь или время) или составными (например, давление, скорость или масса).

Для преобразования простых единиц измерения достаточно ввести число в одно из полей ввода. В результате будут получены значения во всех остальных единицах измерения. Если единицы измерения составные, то следует выбрать в выпадающих списках одной строки наименование единиц, из которых выполняется преобразование, а в списках второй строки — единицы, к которым приводит преобразование. В поле ввода первой из строк вводится число, а в поле ввода второй строки отображаются результаты преобразования.

Активация соответствующей кнопки с флагом позволяет сменить язык общения (русский/английский).

17.1.3 Дискретная арматура

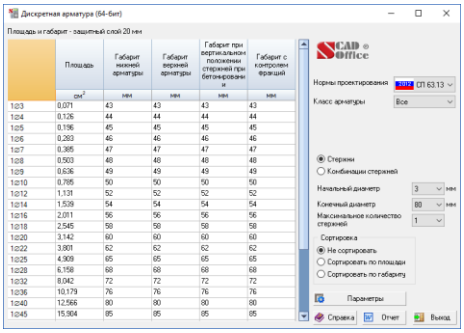


Рис. 17.1.3-1. *Диалоговое окно* **Дискретная арматура**

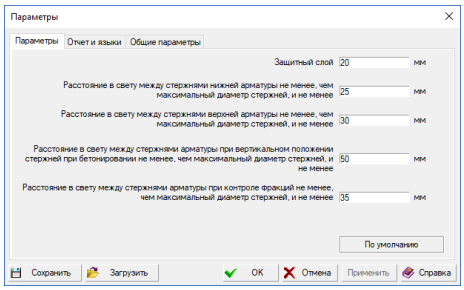


Рис. 17.1.3-2. *Диалоговое окно* **Параметры**

Калькулятор **Дискретная арматура** (рис. 17.1.3-1) позволяет получить все возможные комбинации арматурных стержней при заданных ограничениях по диаметрам арматуры и количеству стержней.

Предусмотрены следующие возможности задания ограничений:

- активный маркер **Стержни** означает, что комбинирование стержней с различными диаметрами не производится, и будут получены все варианты армирования, содержащие не более заданного максимального количества стержней из диапазона, назначенного в списках **Начальный диаметр** и **Конечный диаметр**;
- активный маркер **Комбинации стержней** означает, что будут найдены все комбинации, включающие два стержня различного диаметра, из диапазона, назначенного в списках **Начальный диаметр** и **Конечный диаметр**.

Списки диаметров арматуры заполняются в соответствии с выбранными нормами проектирования и классом арматуры.

Таблица результатов содержит список комбинаций, для каждой из которых приводятся площадь арматуры, минимальные габариты нижней и верхней арматуры, арматуры при вертикальном армировании, а также габарит с контролем фракций.

Все габариты приведены с учетом защитного слоя, величина которого устанавливается в окне **Параметры** на странице

Параметры (рис. 17.1.3-2). На этой же странице можно изменить рекомендуемые СНиП минимальные величины расстояний между арматурными стержнями или, нажав кнопку **По умолчанию**, вернуться к стандартным значениям. Минимальные габариты вычисляются в соответствии с ограничениями, приведенными в СНиП на размещение арматуры в сечениях.

С помощью соответствующих маркеров список может быть отсортирован по площади арматуры или по величине габарита.

17.2 Список сортаментов прокатных профилей, поставляемых с пакетом программ

17.2.1 Сортамент Челябинского металлургического комбината

Русский	English
Двутавр нормальный (Б) по СТО АСЧМ 20-93	Regular I-beam STO ASChM 20-93
Двутавр широкополочный по СТО АСЧМ 20-93	Wide flange I-beam STO ASChM 20-93
Двутавр колонный (К) по СТО АСЧМ 20-93	Column I-beam STO ASChM 20-93
Двутавр по Р40-93	I-beam R 40-93
Специальные двутавры по СТО АСЧМ 20-93	Special I-beam STO ASChM 20-93

17.2.2 ГОСТ

Русский	English
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93	Equal angle GOST 8509-93
Уголок неравнополочный по ГОСТ 8510-86*	Unequal angle GOST 8510-86*
Швеллер с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240-89	Channel with parallel flanges GOST 8240-89
Швеллер (В) по ГОСТ 5267.1-90	Channel GOST 5267.1-90
Швеллер с уклоном полок по ГОСТ 8240-89	Channel with sloped inner flange surfaces GOST 8240-89
Двутавр колонный (К) по ГОСТ 26020-83	Column I-beam GOST 26020-83
Двутавр с уклоном полок по ГОСТ 8239-89	I-beam with sloped inner flange surfaces GOST 8239-89
Двутавр дополнительной серии (Д) по ГОСТ 26020-83	Additional series I-beam GOST 26020-83
Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83	Regular I-beam GOST 26020-83
Двутавр широкополочный по ГОСТ 26020-83	Wide flange I-beam GOST 26020-83
Тавры колонные (КТ) по ТУ 14-2-685-86	Column T-bar TU 14-2-685-86
Тавр ШТ по ТУ 14-2-685-86	T-bar TU 14-2-685-86
Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91	Longitudinally electric welded Circular Hollow Sections GOST 10704-91
Трубы по ГОСТ 10704-91 (сокращенные)	Circular Hollow Sections GOST 10704-91 (reduced list)
Гнутый равнополочный швеллер по ГОСТ 8278-83 из сталей С239-С245	Bent channels with equal flanges GOST 8278-83 (steels C239-C245)
Гнутый равнополочный швеллер по ГОСТ 8278-83 из сталей С255-С275	Bent channels with equal flanges GOST 8278-83 (steels C255-C275)
Квадратные трубы по ТУ 36-2287-80	Square Hollow Sections TU 36-2287-80
Прямоугольные трубы по ТУ 67-2287-80	Rectangular Hollow Sections TU 67-2287-80

Русский	English
Швеллер с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240-97	Channel with parallel flanges GOST 8240-97
Швеллер с уклоном полок по ГОСТ 8240-97	Channel with sloped inner flange surfaces GOST 8240-97
Швеллеры экономичные с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240-97	Economical channels with parallel flanges GOST 8240-97
Швеллеры специальные по ГОСТ 8240-97	Special channels GOST 8240-97
Швеллеры легкой серии с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240-97	Light channels with parallel flanges GOST 8240-97
Швеллер стальной специальный по ГОСТ 19425-74*	Special steel channel GOST 19425-74*
Двутавр стальной специальный по ГОСТ 19425-74*	Special I-beam GOST 19425-74*
Трубы стальные бесшовные горячедеформированные, ГОСТ 8732-78	Seamless hot finished steel Circular Hollow Sections GOST 8732-78
Круглые трубы по ГОСТ Р 54157-2010	Circular Hollow Sections GOST P 54157-2010
Квадратные трубы по ГОСТ 12336-66	Square Hollow Sections GOST 12336-66
Квадратные трубы по ГОСТ Р 54157-2010	Square Hollow Sections GOST P 54157-2010
Прямоугольные трубы по ГОСТ 12336-66	Rectangular Hollow Sections GOST 12336-66
Прямоугольные трубы по ГОСТ Р 54157-2010	Rectangular Hollow Sections GOST P 54157-2010
Трубы стальные квадратные по ГОСТ 8639-68	Square Steel Hollow Sections GOST 8639-68
Трубы стальные прямоугольные по ГОСТ 8645-68	Rectangular Steel Hollow Sections GOST 8645-68
Квадратные трубы по ГОСТ 25577-83*	Square Hollow Sections GOST 25577-83*
Прямоугольные трубы по ГОСТ 25577-83*	Rectangular Hollow Sections GOST 25577-83*
Квадратные трубы по ГОСТ 30245-94	Square Hollow Sections GOST 30245-94
Прямоугольные трубы по ГОСТ 30245-94	Rectangular Hollow Sections GOST 30245-94
Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003	Steel bent closed welded square section GOST 30245-2003
Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003	Steel bent closed welded rectangular section GOST 30245-2003
Трубы стальные квадратные по ГОСТ 8639-82	Square Steel Hollow Sections GOST 8639-82
Сталь калиброванная круглая по ГОСТ 7417-75	Calibrated round steel GOST 7417-75
Прокат стальной горячекатаный круглый ГОСТ 2590-88	Round Hot-rolled Steel Bars GOST 2590-88
Прокат стальной горячекатаный квадратный ГОСТ 2591-88	Square Hot-rolled Steel Bars GOST 2591-88
Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2012	Steel bent closed welded square section GOST 30245-2012
Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2012	Steel bent closed welded rectangular section GOST 30245-2012
Уголок гнутый равнополочный по ГОСТ 19771-93 (таб.1)	Bent equal angle GOST 19771-93 (tab.1)
Уголок гнутый равнополочный по ГОСТ 19771-93 (таб.2)	Bent equal angle GOST 19771-93 (tab.2)
Уголок неравнополочный гнутый по ГОСТ 19772-93 (таб.1)	Bent unequal angle GOST 19772-93 (tab.1)

Русский	English
Уголок неравнополочный гнутый по ГОСТ 19772-93 (таб.2)	Bent unequal angle GOST 19772-93 (tab.2)
Прокат стальной горячекатаный круглый ГОСТ 2590-2006	Round Hot-rolled Steel Bars GOST 2590-2006
Прокат стальной горячекатаный квадратный ГОСТ 2591-2006	Square Hot-rolled Steel Bars GOST 2591-2006
Трубы по ТУ 1381-103-05757848-2013	Circular Hollow Sections TU 1381-103-05757848-2013
Двутавр широкополочный по ТУ 0925-016-00186269-2016	Wide flange I-beam TU 0925-016-00186269-2016
Двутавр широкополочный по ТУ 0925-036-00186269-2016	Wide flange I-beam TU 0925-036-00186269-2016
Двутавр колонный по ТУ 0925-016-00186269-2016	Column I-beam TU 0925-016-00186269-2016
Двутавр среднеполочный по ТУ 0925-016-00186269-2016	Regular I-beam TU 0925-016-00186269-2016
Двутавр нормальный по ТУ 0925-016-00186269-2016	Regular I-beam TU 0925-016-00186269-2016
Двутавр колонный по ТУ 0925-036-00186269-2016	Column I-beam TU 0925-036-00186269-2016
Двутавр нормальный по ТУ 0925-036-00186269-2016	Regular I-beam TU 0925-036-00186269-2016
Двутавр свайный по ТУ 0925-036-00186269-2016	Pile I-beam TU 0925-036-00186269-2016
Двутавр узкополочный по ТУ 0925-016-00186269-2016	Narrow I-beam TU 0925-016-00186269-2016
Двутавр узкополочный по ТУ 24107-016-00186269-2017	Narrow flange I-beam TU 24107-016-00186269-2017
Двутавр нормальный по ТУ 24107-016-00186269-2017	Regular I-beam TU 24107-016-00186269-2017
Двутавр среднеполочный по ТУ 24107-016-00186269-2017	Medium flange I-beam TU 24107-016-00186269-2017
Двутавр широкополочный по ТУ 24107-016-00186269-2017	Wide flange I-beam TU 24107-016-00186269-2017
Двутавр колонный по ТУ 24107-016-00186269-2017	Column I-beam TU 24107-016-00186269-2017
Двутавр нормальный по ТУ 24107-036-00186269-2017	Regular I-beam TU 24107-036-00186269-2017
Двутавр колонный по ТУ 24107-036-00186269-2017	Column I-beam TU 24107-036-00186269-2017
Двутавр широкополочный по ТУ 24107-036-00186269-2017	Wide flange I-beam TU 24107-036-00186269-2017
Двутавр свайный по ТУ 24107-036-00186269-2017	Pile I-beam TU 24107-036-00186269-2017
Двутавр дополнительный балочный по ГОСТ Р 57837-2017	Additional series I-beam GOST R 57837-2017
Двутавр дополнительный колонный по ГОСТ Р 57837-2017	Additional series column I-beam GOST R 57837-2017

Русский	English
Двутавр балочный широкополочный по ГОСТ Р 57837-2017	Wide flange I-beam GOST R 57837-2017
Двутавр балочный нормальный по ГОСТ Р 57837-2017	Regular I-beam GOST R 57837-2017
Двутавр колонный по ГОСТ Р 57837-2017	Column I-beam GOST R 57837-2017
Двутавр свайный по ГОСТ Р 57837-2017	Pile I-beam GOST R 57837-2017
Круглые трубы по ГОСТ 32931-2015	Circular Hollow Sections GOST 32931-2015
Квадратные трубы по ГОСТ 32931-2015	Square Hollow Sections GOST 32931-2015
Прямоугольные трубы по ГОСТ 32931-2015	Rectangular Hollow Sections GOST 32931-2015
Круглые сварные трубы по ГОСТ Р 58064-2018	Circular Hollow Welded Sections GOST R 58064-2018

В ГОСТ Р 54157-2010 таблица Б.1 (сортамент прямоугольных труб) содержит некорректную информацию о трубах размера 400х300х25 и далее (в графах момент инерции I_x и момент сопротивления W_x записаны одни и те же числа).

В связи с этим в **SCAD Office** в базах данных металлопроката эти трубы не включены.

17.2.3 Сокращенный сортамент

Русский	English
Уголок равнополочный по ГОСТ 8509-93	Equal angle GOST 8509-93
Уголок неравнополочный по ГОСТ 8510-86*	Unequal angle GOST 8510-86*
Швеллер с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240-89	Channel with parallel flanges GOST 8240-89
Швеллер с уклоном полок по ГОСТ 8240-89	Channels with sloped inner flange surfaces GOST 8240-89
Двутавр колонный (К) по ГОСТ 26020-83	Column I-beam GOST 26020-83
Двутавр с уклоном полок по ГОСТ 8239-89	I-beam with sloped inner flange surfaces GOST 8239-89
Двутавр дополнительной серии (Д) по ГОСТ 26020-83	Additional series I-beam GOST 26020-83
Двутавр нормальный (Б) по ГОСТ 26020-83	Regular I-beam GOST 26020-83
Двутавр широкополочный по ГОСТ 26020-83	Wide flange I-beam GOST 26020-83
Тавры колонные (КТ) по ТУ 14-2-685-86	Column T-bar TU 14-2-685-86
Тавр ШТ по ТУ 14-2-685-86	T-bar TU 14-2-685-86
Трубы электросварные прямошовные по ГОСТ 10704-91	Longitudinally electric welded Circular Hollow Sections GOST 10704-91
Гнутый равнополочный швеллер по ГОСТ 8278-83 из сталей С239-С245	Bent channel with equal flanges GOST 8278-83 (steels C239-C245)
Гнутый равнополочный швеллер по ГОСТ 8278-83 из сталей С255-С275	Bent channels with equal flanges GOST 8278-83 (steels C255-C275)
Квадратные трубы по ТУ 36-2287-80	Square Hollow Sections TU 36-2287-80
Прямоугольные трубы по ТУ 67-2287-80	Rectangular Hollow Sections TU 67-2287-80

17.2.4 Старые сортаменты

Русский	English
Уголок равнополочный по ОСТ 14-1926	Equal angle OST 14-1926
Уголок равнополочный по ОСТ 14-1932	Equal angle OST 14-1932

Уголок неравнополочный по ОСТ 15-1926	Unequal angle OST 15-1926
Уголок неравнополочный по ОСТ 15-1932	Unequal angle OST 15-1932
Двутавр балочный по ОСТ 16-1926	I-beam OST 16-1926
Двутавр балочный по ОСТ 16-1932	I-beam OST 16-1932
Швеллер с уклоном полок по ОСТ 17-1926	Channel with sloped inner flange surfaces OST 17-1926
Швеллер с уклоном полок по ОСТ 17-1933	Channel with sloped inner flange surfaces OST 17-1933
Балки двутавровые по ОСТ 10016-39	I-beams OST 10016-39
Швеллер ОСТ 10017-39	Channel OST 10017-39
Уголок равнополочный по ОСТ 10014-39	Equal angle OST 10014-39
Уголок неравнополочный по ОСТ 10015-39	Unequal angle OST 10015-39
Двутавр IPB по ДИН 1025	IPB Shapes DIN 1025
Двутавр IPB1 по ДИН 1025	IPB1 Shapes DIN 1025
Двутавр IPBv по ДИН 1025	IPBv Shapes DIN 1025
Двутавр IPE по ДИН 1025	IPE Shapes DIN 1025
Двутавр IPEo по ДИН 1025	IPEo Shapes DIN 1025
Двутавр IPEv по ДИН 1025	IPEv Shapes DIN 1025

17.2.5 ASTM

Русский	English
Равнополочный уголок	Equal Angles
Неравнополочный уголок	Unequal Angles
Двутавр HP	H-Piles
Двутавр M	Miscellaneous Shapes
Двутавр S	American Standard Shapes
Двутавр W	Wide Flange Shapes
Тавр MT	Miscellaneous Tees
Тавр ST	American Standard Tees
Тавр WT	Wide Flange Tees
Швеллер C	American Standard Channels
Швеллер MC	Miscellaneous Channels
Труба круглая P	Pipe
Труба круглая PX	Extra Strong Pipe
Труба круглая PXX	Double-Extra Strong Pipe
Труба квадратная	Tube Steel (Square)
Труба прямоугольная	Tube Steel (Rectangular)

17.2.6 Великобритания – стандартные профили (British Standard Sections)

Русский	English
Двутавр Universal Beams to BS4	Universal Beams
Двутавр Universal Columns to BS4	Universal Columns
Двутавр Universal Bearing Piles to BS4	Universal Bearing Piles
Труба прямоугольная EN10210 (UK)	Rectangular Hollow Sections
Труба круглая EN10210(UK)	Circular Hollow Sections
Труба квадратная EN10210 (UK)	Square Hollow Sections

Двутавр Joists	Joists
Уголок равнополочный	Equal Angles
Уголок неравнополочный	Unequal Angles
Швеллер	Channels
Тавр Tees from UB's to BS4	Structural Tees cut from UB's
Тавр Tees from UC's to BS4	Structural Tees cut from UC's
Труба круглая EN10219-2:2006(E)	Circular Hollow Sections EN10219-2:2006(E)
Труба квадратная EN10219-2:2006 (E)	Square Hollow Sections EN10219-2:2006 (E)
Труба прямоугольная EN10219-2:2006 (E)	Rectangular Hollow Sections EN10219-2:2006 (E)

17.2.7 Великобритания – импортируемые профили (Overseas Shapes)

Русский	English
Двутавр ASTM Shapes	ASTM W Shapes (Universal beams and columns)
Двутавр Euronorm IPE Sections	IPE Shapes (European universal beams)
Двутавр Euronorm HE Sections	HE Shapes (European universal beams and columns)
Труба прямоугольная EN10210 (OS)	Rectangular Hollow Sections
Труба круглая EN10210 (OS)	Circular Hollow Sections
Труба квадратная EN10210 (OS)	Square Hollow Sections

17.2.8 Arbed

Русский	English
Равнополочный уголок по Euronorm 56-77	Equal Angles Euronorm 56-77
Неравнополочный уголок по Euronorm 57-78	Unequal Angles Euronorm 57-78
Двутавр IPE Euronorm 19-57	European I-beams (IPE)
Двутавр IPN	European standard beams (IPN)
Двутавр HE Euronorm 53-62	European wide flange beams (HE)
Двутавр HL Euronorm 53-62	European wide flange beams (HL)
Двутавр HD	Wide flange columns (HD)
Двутавр HP	Wide flange bearing piles (HP)
Двутавр W	American wide flange beams (W)
Двутавр UB	British universal beams (UB)
Двутавр UC	British universal columns (UC)
Швеллер UAP	Channels with parallel flanges
Швеллер UPN	European standard channels

17.2.9 Сварные профили

Русский	English
Двутавры сварные ТУ У 01412851.001-95	Welded I-beam TU U 01412851.001-95
Двутавр сварной серии (Б) взамен ГОСТ 26020-83 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Welded I-beam instead of GOST 26020-83 (TU 0925-001-97638531-2016)
Двутавр сварной серии (Б) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Welded I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-001-97638531-2016)

Двутавр сварной серии (К) взамен ГОСТ 26020-83 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Column I-beam instead of GOST 26020-83 (TU 0925-001-97638531-2016)
Двутавр сварной серии (К) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Welded I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-001-97638531-2016)
Двутавр сварной серии (Ш) взамен ГОСТ 26020-83 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Wide flange I-beam instead of GOST 26020-83 (TU 0925-001-97638531-2016)
Двутавр сварной широкополочный серии (Ш) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-001-97638531-2016)	Wide flange I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-001-97638531-2016)
Двутавр сварной по ТУ 0925-001-97638531-2016	Welded I-beam TU 0925-001-97638531-2016
Двутавр сварной серии (Б) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-002-62017235-2016)	Welded I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-002-62017235-2016)
Двутавр сварной широкополочный серии (Ш) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-002-62017235-2016)	Wide flange I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-002-62017235-2016)
Двутавр сварной серии (К) взамен СТО АСЧМ 20-93 (ТУ 0925-002-62017235-2016)	Welded I-beam instead of STO ASChM 20-93 (TU 0925-002-62017235-2016)

17.2.10 OTUA

Русский	English
Равнополочный уголок по NF A 45-009	Equal Angles NF A 45-009
Неравнополочный уголок по NF A 45-010	Unequal Angles NF A 45-010
Двутавр IPN по NF A 45-209	IPN Shapes NF A 45-209
Двутавр PA по NF A 45-205	PA Shapes NF A 45-205
Двутавр IPE-A по NF A 45-205	IPE-A Shapes NF A 45-205
Двутавр IPE по NF A 45-205	IPE Shapes NF A 45-205
Двутавр IPE-R по NF A 45-205	IPE-R Shapes NF A 45-205
Двутавр HEA-A по NF A 45-201	HEA-A Shapes NF A 45-201
Двутавр HEA по NF A 45-201	HEA Shapes NF A 45-201
Двутавр HEB по NF A 45-201	HEB Shapes NF A 45-201
Двутавр HEM, HEC по NF A 45-201	HEM, HEC Shapes NF A 45-201
Тавр PA по NF A 45-205	Structural Tees cut from PA NF A 45-205
Тавр IPE-A по NF A 45-205	Structural Tees cut from IPE-A NF A 45-205
Тавр IPE по NF A 45-205	Structural Tees cut from IPE NF A 45-205
Тавр IPE-R по NF A 45-205	Structural Tees cut from IPE-R NF A 45-205
Тавр HEA-A по NF A 45-211	Structural Tees cut from HEA-A NF A 45-211
Тавр HEA по NF A 45-201	Structural Tees cut from HEA NF A 45-201
Тавр HEB по NF A 45-201	Structural Tees cut from HEB NF A 45-201
Тавр HEM, HEC по NF A 45-201	Structural Tees cut from HEM, HEC NF A 45-201
Швеллеры UPN по NF A 45-202	Channels UPN NF A 45-202
Швеллеры UPN-A по NF A 45-202	Channels UPN-A NF A 45-202
Швеллеры UAP по NF A 45-255	Channels UAP NF A 45-255
Швеллеры UAP-A по NF A 45-255	Channels UAP-A NF A 45-255
Труба круглая	Circular Hollow Sections
Труба прямоугольная	Rectangular Hollow Sections
Труба квадратная	Square Hollow Sections

17.2.11 DIN

Русский	English
Равнополочный уголок по DIN 1028	Equal Angles DIN 1028
Неравнополочный уголок по DIN 1029	Unequal Angles DIN 1029
Балки двутавровые по DIN 1025	Beam DIN 1025
Широкополочные двутавры по DIN 1025 (с парал. гранями)	IP DIN 1025
Широкополочные двутавры по DIN 1025 (9% уклон)	IP DIN 1025 (9%)
Швеллеры по DIN 1026	Channels DIN 1026
Труба круглая по DIN 2448	Circular Hollow Sections DIN 2448
Труба прямоугольная по DIN 59410	Rectangular Hollow Sections DIN 59410
Труба квадратная по DIN 59410	Square Hollow Sections DIN 59410

17.2.12 Индийский сортамент

Русский	English
Равнополочный уголок	Rolled steel equal angle
Неравнополочный уголок	Unequal angle
Двутавр ISHB	Rolled steel beams ISHB
Двутавр ISJB	Rolled steel beams ISJB
Двутавр ISWB	Rolled steel beams ISWB
Двутавр ISLB	Rolled steel beams ISLB
Двутавр ISMB	Rolled steel beams ISMB
Швеллер ISJC	Rolled steel channels ISJC
Швеллер ISLC	Rolled steel channels ISLC
Швеллер ISMC	Rolled steel channels ISMC
Труба круглая	Circular Hollow Sections

17.2.13 Японский сортамент

Русский	English
Равнополочный уголок	Equal Angles
Неравнополочный уголок	Unequal Angles
Двутавр узкий	Short Flange Shapes
Двутавр средний	Middle Flange Shapes
Двутавр широкий	Wide Flange Shapes
Швеллер	Channel
Тавр узкий	Short Flange Tee
Тавр средний	Middle Flange Tee
Тавр широкий	Wide Flange Tee
Труба круглая	Circular Hollow Sections
Труба прямоугольная	Rectangular Hollow Sections
Труба квадратная	Square Hollow Sections

17.2.14 Сортамент Польши

Русский	English
Равнополочный уголок по PN-EN 10056-1:2000	Equal angle PN-EN 10056-1:2000
Равнополочный уголок по PN-84/H-93401	Equal angle PN-84/H-93401

Балки двутавровые по PN-91/H-93419	I-beam PN-91/H-93419
Двутавр HEA по PN-H-93452:2005	Structural Tees cut from HEA PN-H-93452:2005
Широкополочные двутавры по PN-H-93452:2005	Wide flange I-beam PN-H-93452:2005
Двутавр HEC по PN-H-93452:2005	Structural Tees cut from HEC PN-H-93452:2005
Швеллеры по PN-86/H-93403	Channels PN-86/H-93403
Труба квадратная PN-EN 10219-2:2000	Square Hollow Sections PN-EN 10219-2:2000

17.2.15 Сортамент Китая

Русский	English
Уголок равнополочный GB/T 706-2008	Equal angle GB/T 706-2008
Уголок неравнополочный GB/T 706-2008	Unequal angle GB/T 706-2008
Уголок неравнополочный тип II GB/T 706-2008	Unequal angle type II GB/T 706-2008
Двутавр с уклоном полок GB/T 706-2008	I-beam with sloped inner flange surfaces GB/T 706-2008
Швеллер с уклоном полок GB/T 706-2008	Channel with sloped inner flange surfaces GB/T 706-2008
Круглые трубы по GB/T 6728-2002	Circular Hollow Sections GB/T 6728-2002
Трубы стальные квадратные по GB/T 6728-2002	Square Hollow Sections GB/T 6728-2002
Прямоугольные трубы по GB/T 6728-2002	Rectangular Hollow Sections GB/T 6728-2002

17.2.16 Профили холодногнутые

Русский	English
Профиль ЛП по ТУ 1121-009-46216359-2010	Profile LP TU 1121-009-46216359-2010
Профиль ЛС по ТУ 1121-009-46216359-2010	Profile LC TU 1121-009-46216359-2010
Профиль U по ТУ 1122-002-10836231-2014	Profile U TU 1122-002-10836231-2014
Профиль С по ТУ 1122-02-10836231-2014	Profile C TU 1122-02-10836231-2014
Профиль U по ТУ 1120-001-37820873-2012	Profile U TU 1120-001-37820873-2012
Профиль С по ТУ 1120-001-37820873-2012	Profile C TU 1120-001-37820873-2012
Профиль ПС по ТУ 1120-001-82861223-2009	Profile PC TU 1120-001-82861223-2009
Профиль стальной гнутый С-образный равнополочный по ГОСТ 8282-83	Steel roll-formed C-shaped equal flange sections GOST 8282-83
Профили стальные гнутые зетовые ГОСТ 13229-78 табл.3	Steel bent Z-shaped sections GOST 13229-78 tab.3
Профили стальные гнутые зетовые ГОСТ 13229-78 табл.4	Steel bent Z-shaped sections GOST 13229-78 tab.4
Профили стальные гнутые зетовые ГОСТ 13229-78 табл.1	Steel bent Z-shaped sections GOST 13229-78 tab.1
Профили стальные гнутые зетовые ГОСТ 13229-78 табл.2	Steel bent Z-shaped sections GOST 13229-78 tab.2
Швеллер стальной гнутый неравнополочный по ГОСТ 8281-80 табл.1	Steel roll-formed unequal channels GOST 8281-80 tab.1
Швеллер стальной гнутый неравнополочный по ГОСТ 8281-80 табл.2	Steel roll-formed unequal channels GOST 8281-80 tab.2
Профиль стальной гнутый корытный равнополочный по ГОСТ 8283-93 табл.1	Bent steel hat equal flange sections GOST 8283-93 tab.1
Профиль стальной гнутый корытный равнополочный по ГОСТ 8283-93 табл.2	Bent steel hat equal flange sections GOST 8283-93 tab.2

17.2.17 Профили холодногнутые стальные оцинкованные

Русский	English
Профиль ПС по ТУ 1121-001-13830080	Profile PC TU 1121-001-13830080
Профиль ПН по ТУ 1121-001-13830080	Profile PN TU 1121-001-13830080
Профиль ТС по ТУ 1121-001-13830080	Profile TC TU 1121-001-13830080
Профиль ТН по ТУ 1121-001-13830080	Profile TN TU 1121-001-13830080
Профиль АС по ТУ 1122-002-82866678-2013	Profile AC TU 1122-002-82866678-2013
Профиль Е по ТУ 1121-001-99651760-2015 из сталей 250/С255	Profile E TU 1121-001-99651760-2015 (steel 250/C255)
Профиль Е по ТУ 1121-001-99651760-2015 из сталей 350/С345	Profile E TU 1121-001-99651760-2015 (steel 350/C345)
Профиль АЕ по ТУ 1122-002-82866678-2013	Profile AE TU 1122-002-82866678-2013
Профиль AZ по ТУ 1122-002-82866678-2013 табл.2	Profile AZ TU 1122-002-82866678-2013 tab.2
Профиль AZ по ТУ 1122-002-82866678-2013 табл.3	Profile AZ TU 1122-002-82866678-2013 tab.3

17.2.18 Холодногнутые профили украинских производителей

Русский	English
Профиль С-образный по Лайт Хаусе-Украина	Profile C manufacture by Light House-Ukraine
Профиль U-образный по Лайт Хаус-Украина	Profile U manufactured by Light House-Ukraine
Профиль С-образный по Сталекс	Profile C manufactured by Stalex
Профиль Cw-образный по Сталекс	Profile Cw manufactured by Stalex
Профиль U-образный по Сталекс	Profile U manufactured by Stalex
Профили стальные гнутые зетовые (Z) по Сталекс	Steel bent Z-manufacture by Stalex
Профили стальные гнутые зетовые (Zw) по Сталекс	Steel bent Zw-manufacture by Stalex
Профиль С-образный Прушиньски	Profile C manufacture by Pruszynski

17.3 Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит*)

Федоровский В.Г., Безволев С.Г.

Дается краткий обзор развития методов расчета плит на упругом основании (от Н.М.Герсеванова до наших дней) с выделением вопросов, относящихся к моделям основания. Описывается метод расчета осадок, основанный на послойном суммировании с учетом структурной прочности грунта и пригодный для использования в расчете плит.

Методы расчета плит. К началу 1930-х годов теория расчета балок на винклеровском основании достигла практического совершенства. Значительный вклад в развитие этой теории внес Н.М.Герсеванов [1]. Позднее Л.Л.Галин и М.И.Горбунов-Посадов [2] показали, что для расчета балок (свай) модель Винклера вполне адекватна, несмотря на наличие у основания распределительной способности. При этом коэффициент постели вычисляется через характеристики основания (такие, как модуль деформации) и геометрические размеры балки.

Однако для плитных фундаментов пренебрежение распределительной способностью основания в модели Винклера приводит не только к количественным, но и качественным отличиям результатов расчета по сравнению, скажем, с моделью основания в виде однородного упругого полупространства (УПП). Н.М.Герсеванову это было очевидно, и поэтому он инициировал и возглавил в ВИОС (НИИОСП) разработку методов расчета плит на УПП. Результаты этой работы сведены в сборник [3]. Так, в статье Н.М.Герсеванова и Я.А.Мачерета о нагруженной сосредоточенной силой бесконечно длинной балке на «упругой почве» под балкой авторы понимали балочную плиту, т.е. бесконечную и однородную в одном направлении плиту, работающую в условиях плоской деформации, а под сосредоточенной силой, соответственно, — нагрузку, распределенную с постоянной интенсивностью вдоль прямой линии того же направления. Н.М.Герсеванов и Я.А.Мачерет решают плоскую задачу теории упругости для полуплоскости, используя оригинальное представление напряжений в виде функций комплексного переменного, полученное ранее Н.М.Герсевановым. В качестве граничного условия (помимо отсутствия касательных напряжений) используется уравнение изгиба балки, связывающее перемещение границы с контактными нормальными напряжениями. Решение ищется методом функциональных уравнений и сводится к решению обыкновенного линейного дифференциального уравнения 3-го порядка. При этом очень эффективно используется герсевановское представление обобщенной δ-функции в виде предела аналитической функции [1]. Достаточно технически сложные построения позволяют представить решение в аналитической форме, доказать его корректность и выписать в конечном виде некоторые ключевые параметры, например изгибающий момент в плите в месте приложения нагрузки. Б.П.Павлов [3] решает ту же задачу несколько иными методами. У него плита задается не уравнением изгиба, а как упругая полоса конечной толщины. Используется стандартное представление решения плоской задачи теории упругости Колосова-Мусхелишвили. Задача сводится к сингулярному интегральному уравнению относительно неизвестной функции распределения контактных напряжений, которое решается методом коллокаций с использованием численного интегрирования. Из-за крайне ограниченных в то время возможностей решения систем линейных уравнений результаты получились достаточно приближенными, но качественно верными.

В работе [3] Б.П.Павлов и Я.А.Мачерет, используя разработанные в предшествующих работах методы, решают задачу балки конечной длины. Эту же задачу рассматривает М.И.Горбунов-Посадов, но он использует более простой метод, основанный на представлении контактного давления в виде полинома и интегрировании решения Фламана для упругой полуплоскости. Этот метод восходит к приближенному решению Л.С.Гильманом задачи о жестком штампе и параллельно и независимо развивается также В.А.Флориным [2], [4]. Благодаря своей простоте метод полиномов использовался в дальнейшем

*) Данное приложение содержит текст статьи, опубликованной в журнале Основания, фундаменты и механика грунтов.— 2000.— № 4 [32].

М.И. Горбуновым-Посадовым для решения не только плоской, но и пространственной задачи (разумеется, на основе решения Буссинеска, а не Фламана), т.е. для любых плит [2]. Метод полиномов получил изящное развитие (допускающее в ряде случаев точное решение) в работах П.И.Клубина [4] для плоской и осесимметричной задач и Ю.К.Зарецкого [5] — для круглой плиты при неосесимметричной нагрузке.

Дальнейшее развитие теории расчета конструкций на упругом основании пошло по нескольким направлениям. Одно из них, использующее достаточно общее представление линейно деформируемого основания в виде ядра деформации по Б.Г.Кореневу [6], рассматривается в [1]. Для фундаментных плит, характеризующихся достаточно сложными нагрузками и геометрией, теория развивалась в направлении все большего использования численных методов, и в настоящее время в проектной практике используются в основном общие или специализированные программы конечноэлементного (гораздо реже конечно-разностного) расчета плит. Для МКЭ наиболее удобно использовать винклеровское основание [7], но это не означает, что в рамках конечноэлементного подхода невозможно применять другие модели. Напротив, с помощью итеративного алгоритма Шварца можно рассчитывать плиту на любом, в том числе нелинейном основании. Исходная задача формулируется как задача решения системы уравнений

$$\begin{aligned} D\Delta^2 w &= p - q; \\ L(q) &= w, \end{aligned} \qquad (1)$$

где D — изгибная жесткость плиты; w — осадка плиты и основания; p — нагрузка на плиту; q — отпор грунта (контактное давление); L — оператор, связывающий нагрузку на основание с его осадкой (контактная модель основания).

Эта задача заменяется на решение уравнения

$$D\Delta^2 w + kw = p, \qquad (2)$$

где k — коэффициент постели. Задавшись каким-либо начальным значением k, решаем уравнение (2), и по найденным осадкам при том же k находим контактное давление q. По контактной модели находим осадки основания, соответствующие этому давлению и пересчитываем коэффициент постели. Вновь решаем уравнение (2) и т.д. до сходимости по заданному параметру.

Таким образом, на сегодня вопрос методики расчета плит значительно менее актуален, чем вопрос выбора модели основания.

Модели основания. Модель УПП, помимо таких недостатков, как неучет нелинейной деформируемости и трехмерной неоднородности грунтового основания, преувеличивает и его распределительную способность, а также приводит к появлению под краями плиты физически нереальных бесконечных давлений. Поэтому совершенствование этой модели велось в направлении снижения распределительной способности — упругий слой (УС) (К.Е.Егоров и др.), его аппроксимация в виде двухпараметрического основания (М.М.Филоненко-Бородич, П.Л.Пастернак, В.З.Власов), основание с увеличивающимся по глубине модулем (Г.К.Клейн) — или снятия краевых бесконечностей — винклеровский слой на УПП (И.Я.Штаерман). Однако эти модели, не решая в принципе вопросов нелинейности и неоднородности, не дают удовлетворительного решения и задачи прогноза осадки сооружения одновременно с расчетом плиты. По оценке В.И.Соломина, для расчета плиты следует брать упругий слой примерно вдвое меньшей толщины, чем для расчета осадки.

Для понимания природы этого парадокса нужно обратиться к экспериментам и натурным наблюдениям. Как первые [8, 9], так и вторые [10], показывают, что распределение вертикальных перемещений грунта по глубине в принципе отличается от расчетного по УПП. Значительная часть (для обычных фундаментов и нагрузок порядка двух третей) суммарного сжатия основания, т.е. осадки, концентрируется в тонком слое под фундаментом, а остальная осадка распространяется на значительную глубину, причем деформации в этой части основания соответствуют модулю деформации, значительно превосходящему стандартный нормативный. С ростом нагрузки зона больших деформаций возрастает. Деление основания на две зоны естественно отождествить с разделением на зоны упругопластических (больших) и упругих (малых) деформаций.

На этой идее основаны предложения по расчету осадок с использованием простейшей упругопластической билинейной модели [9–13]. В работе [10] была предложена модель основания в виде слоя, опирающегося на значительно более жесткое полупространство. Толщина слоя зависит от нагрузки и так называемой структурной прочности грунта (не очень удачный термин, установившийся в отечественной ли-

тературе и означающий предел упругости), а модуль деформации слоя получается осреднением по глубине. Такая модель объясняет парадокс В.И.Соломина, поскольку слой определяет, в основном, распределительную способность основания и только часть общей осадки. Очевидным недостатком этой модели является неучет неоднородности основания в плане, в том числе неоднородности, связанной с нагрузкой. В работах В.Н.Широкова [11] и В.С.Копейкина [13] структурная прочность определяется с учетом всех компонент напряженного состояния, и потому соответствующие методы расчета осадок не отличаются принципиально от методов, основанных на использовании наиболее общих нелинейных моделей грунтов, и мало пригодны для существенно трехмерных задач расчета плит (в том числе и в результате использования нестандартных характеристик).

В работе авторов [12] с учетом специфики задачи сжатие рассматривается как близкое к компрессионному, в расчете участвуют только вертикальные напряжения σ_z и, соответственно, структурная прочность p_c соотносится только с этим напряжением. При таком подходе, как будет показано ниже, расчет осадок сильно упрощается и вполне может использоваться в качестве вспомогательной процедуры в расчетах плит.

Без особого ограничения общности осадка какой-либо точки подошвы плиты с координатами в плане $\{x, y\}$ может быть записана в виде

$$w = \int_{z_t}^{z_d} \beta \frac{\Delta\sigma}{E} dz \,, \tag{3}$$

где z — вертикальная координата, возрастающая вниз; z_f — координата подошвы; $z_d = z_f + H$ — нижняя граница интегрирования (послойного суммирования); H — глубина сжимаемой толщи; β — коэффициент, учитывающий степень боковой стесненности вертикального сжатия грунта; $\Delta\sigma$ — приращение вертикального нормального напряжения от действия нагрузки на основание; E — модуль деформации. Три последние величины являются функциями всех трех координат $\{x, y, z\}$. Ниже на основе анализа предлагаются способы задания входящих в формулу (3) величин, обеспечивающие оптимальное, на наш взгляд, сочетание простоты и точности расчета.

Глубина сжимаемой толщи в различных методах расчета осадок определяется по-разному. Наиболее естественно было бы вовсе не ограничивать сжимаемую толщу или ограничить ее снизу кровлей скальных грунтов, осадки которых пренебрежимо малы. Последнее часто удается сделать, но далеко не всегда на практике изыскания доходят до границы скальных пород. Поэтому нормативные методы расчета вводят некоторые условные ограничения сжимаемой толщи. Так, СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений предлагает два метода расчета осадок — с использованием расчетных схем в виде линейно деформируемого полупространства (ЛПП) и линейно деформируемого слоя (ЛС). В ЛПП нижняя граница сжимаемой толщи определяется как глубина, на которой $\Delta\sigma$ составляет 20% эффективного бытового давления σ_{zg} (или 10%, если 20%-я граница попадает в слабый грунт или непосредственно подстилается им). При этом $\Delta\sigma$ для фундаментов с шириной подошвы более 10 м вычисляется от всей приложенной к основанию нагрузки, а для менее широких фундаментов — от нагрузки за вычетом бытового давления на уровне подошвы (причина такого деления не вполне ясна). Толщина ЛС слабо зависит от нагрузки (изменяется в 1,5 раза при изменении среднего давления по подошве от 0,1 до 0,5 МПа) и, в основном, определяется, песчаное это основание или глинистое. Причина такого выбора еще менее понятна.

В СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений глубина сжимаемой толщи определяется для фундаментов шириной менее 20 м как по СНиП 2.02.01-83 (при этом не указывается, какой из двух вышеприведенных способов имеется в виду), а для фундаментов шире 20 м – по критерию $\Delta\sigma = 50\%\ \sigma_{zg}$ (или 20% при попадании в слабый грунт).

В Eurocode 7 понятия сжимаемой толщи (как и послойного суммирования) нет вообще.

Достаточно очевидно, что малые толщины сжимаемых слоев в ЛС и СНиП 2.02.02-85 условны, не отражают реальной картины деформирования основания и потому, даже если они дают удовлетворительные результаты при прогнозе осадок, для расчета плит мало пригодны. Физически достоверный метод расчета осадок не должен сильно зависеть от учета или неучета деформаций на больших глубинах, поскольку деформации там должны быть весьма незначительны. Исходя из этого соображения, в предлагаемом методе

расчета осадок принимаем для ограничения сжимаемой толщи снизу кровлю скалы (если она есть) или глубину, находимую по 10%-у критерию (причем в последнем случае эта глубина постоянна в плане).

Коэффициент бокового обжатия в различных нормах также определяется по-разному. В СНиП 2.02.02-85 (если пренебречь путаницей в индексах между п. 7.7 и приложением 3) используется формула компрессионного сжатия, следующая из закона Гука

$$\beta = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{1-\nu}, \qquad (4)$$

где ν – коэффициент Пуассона грунта. В методе ЛПП $\beta = 0{,}8$, а в ЛС в явном виде этого коэффициента нет, но из табл. 4 приложения 2 СНиП 2.02.01-83 нетрудно убедиться, что в этом методе (по крайней мере, вблизи подошвы фундамента) $\beta = 0{,}5$, что, согласно формуле (4), соответствует $\nu \approx 0{,}39$.

Обращаясь мысленно к физической картине, отметим, что непосредственно под фундаментом грунт, сцепленный с подошвой, не имеет боковых деформаций, т.е. находится в условиях компрессии. В то же время при удалении от фундамента дополнительные горизонтальные напряжения убывают значительно быстрее, чем вертикальные. Точное распределение β установить трудно даже для однородного упругого основания. Мы предлагаем рассчитывать этот коэффициент по приближенной формуле

$$\beta = \beta_c + \sqrt{1-\alpha^2}\,(\beta_u - \beta_c), \qquad (5)$$

где β_c – «компрессионный» коэффициент, определяемый по формуле (4); β_u – коэффициент на бесконечности; α – коэффициент рассеяния вертикального напряжения от равномерной нагрузки, приложенной к поверхности основания в пределах подошвы фундамента (см. приложение 2 СНиП 2.02.01-83).

Эта формула проверялась сопоставлением с решениями теории упругости для жесткого плоского штампа, сцепленного с однородным УПП. На рис.1, *а* дается сравнение с решением В.М.Абрамова [4] для случая плоской задачи. В этом случае на бесконечности имеет место плоское одноосное сжатие и $\beta_u = 1 - \nu^2$.

На рис. 1, *б* рассматривается осесимметричная задача. Здесь решение получено численно с учетом как нормальных, так и касательных контактных напряжений и смещений методом поверхностных граничных элементов (ПГЭ) — аналогом метода Жемочкина — и для контроля сопоставлено с точным решением [14] по осадке штампа (погрешность оказалась в пределах 1%). В осесимметричном случае из решения Буссинеска для сосредоточенной силы и из расчетов для штампа следует, что $\beta_u = 1 + \nu(1-2\nu)/3$.

На обоих графиках показаны точки, соответствующие области основания, лежащей под штампом на глубину до 10 его ширин (диаметров). Видно, что при всех коэффициентах Пуассона приближение (5) вполне удовлетворительное и дает, как правило, некоторый запас, т.е. за счет некоторого преувеличения β приводит к незначительному завышению осадок, подсчитываемых по формуле послойного суммирования (3).

Распределение дополнительных напряжений от нагрузки должно в принципе учитывать неоднородность основания, его нелинейную деформируемость и т.д. Однако для большинства реальных случаев вполне удовлетворительное приближение дает расчет вертикальных нормальных (но не прочих!) напряжений по формуле Буссинеска для сосредоточенной силы на УПП. Для оценки погрешности этой гипотезы в рамках предлагаемого метода расчета осадок приведем два сравнения.

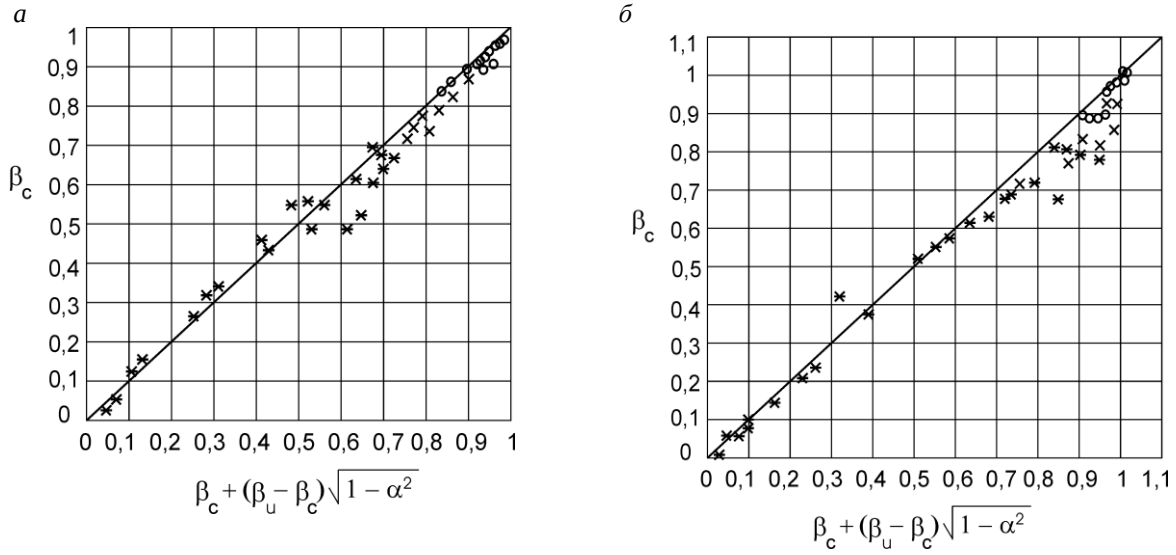


Рис. 1. Сопоставление предлагаемого коэффициента бокового обжатия с расчетным по решению плоской (*а*) и осесимметричной (*б*) задач о жестком штампе, сцепленном с упругим полупространством
o — $\nu = 0{,}2$; **x** — $\nu = 0{,}35$; ∗ — $\nu = 0{,}5$.

Один из наиболее выраженных случаев неоднородности — слой, сцепленный с абсолютно жестким подстиланием. В этом случае у подошвы слоя по оси сосредоточенной нагрузки имеет место концентрация напряжений, т.е. увеличение σ_z примерно на 50% по сравнению с решением Буссинеска [15]. Однако наряду с этим там же имеет место значительно большее (относительно) изменение горизонтальных напряжений (за счет сцепления с подстиланием), так что результирующие деформации по закону Гука отнюдь не возрастают. На рис. 2 показано сопоставление решений упругой задачи о круглом штампе на конечном слое и решения той же задачи по предлагаемому методу. Первое решение было получено МКЭ, а второе — методом ПГЭ с учетом только вертикальных контактных давлений и расчетом осадок по формуле (3). Напряжения при этом рассчитывались по Буссинеску, β —- по формуле (4) с указанными выше для случая осесимметричной задачи значениями параметров, *H* принималась равной толщине слоя. Видно, что, несмотря на концентрацию σ_z, расчетные осадки по предлагаемому методу будут больше, а не меньше теоретических упругих. При этом различие намного меньше 50%. Исключение составляет случай $\nu = 0{,}5$, где различие очень большое, но этот случай не поддается расчету с помощью стандартной программы МКЭ. Реально расчет МКЭ производился при $\nu = 0{,}499$, а точность его вызывает большие сомнения. При больших толщинах слоя на решении МКЭ, видимо, отрицательно сказывался конечный размер расчетной области по горизонтали (5 радиусов штампа). Из сопоставления с точным решением для УПП [13], показанным на этом же графике слева стрелками, видно, что решение по предлагаемому методу несколько завышает осадки (что идет в запас прочности), а решение МКЭ, напротив, занижает их.

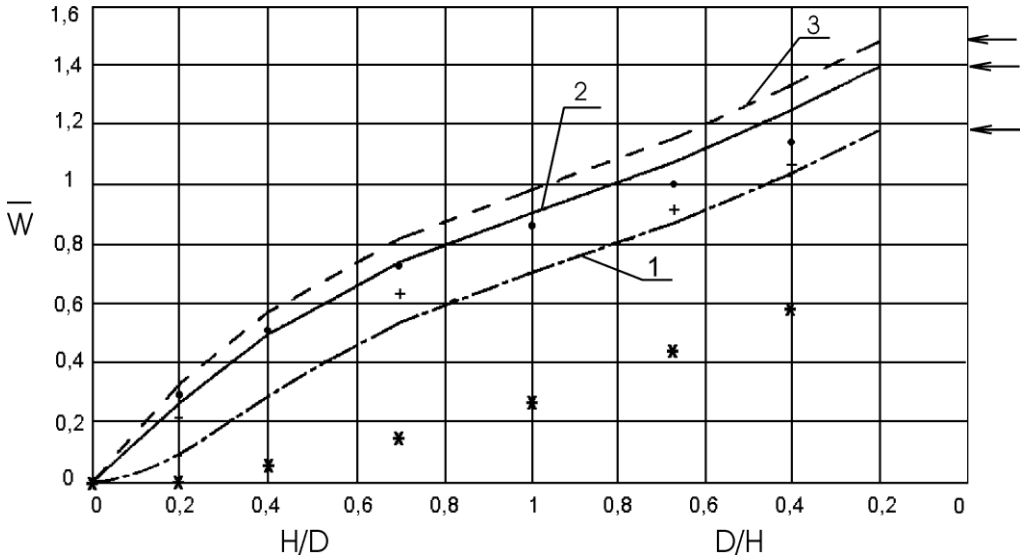


Рис. 2. Зависимость безразмерной осадки $W = wE/pR$ круглого жесткого идеально шероховатого штампа от толщины упругого слоя. Точки — расчет МКЭ; линии — расчет по предлагаемому методу; стрелками показаны точные решения для полупространства • — $\nu = 0{,}2$ (1); + — $\nu = 0{,}35$ (2); * — $\nu = 0{,}5$ (3)

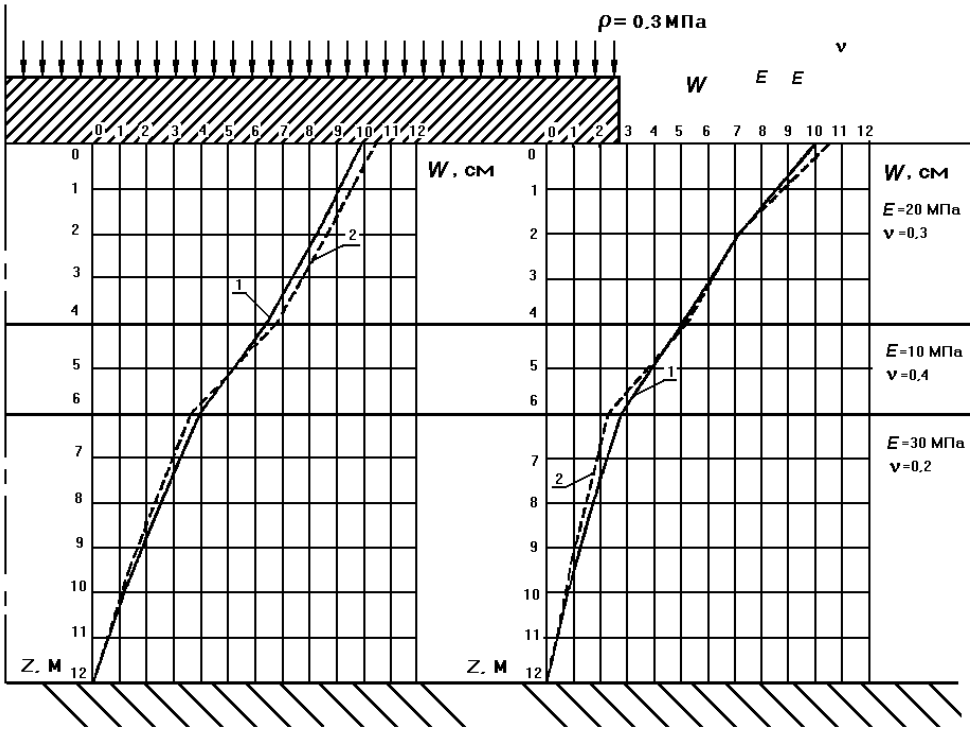


Рис. 3. Сопоставление осадок неоднородного основания по решению МКЭ (1) и предлагаемому методу (2)

Следующий пример — слоистое основание, где модуль деформации изменяется с глубиной немонотонно (уменьшение модуля с глубиной приводит к наибольшим отличиям истинного распределения σ_z от буссинесковского). Параметры основания приведены на рис. 3. Радиус штампа 10 м. Вновь осадка по предлагаемому методу (решение получено идентичным вышеописанному способом) больше конечноэлементной. Но распределение осадок основания по глубине на двух вертикалях (находящихся на расстоянии 2 м и 9.5 м от оси штампа) демонстрирует близость обоих решений (см. рис. 3), причем в решении МКЭ влияние неоднородности даже менее выражено.

Модуль деформации в данном контексте — это ключевой элемент модели, то, что связывает модель основания с моделями грунтов. Послойное суммирование допускает в принципе произвольную нелинейную связь между напряжениями и деформациями. Однако, учитывая желательность использования стандартных характеристик грунтов, для формулы (3) лучше всего подходит билинейная модель (термин введен В.Н.Широковым), которая формулируется следующим образом:

$$\frac{\Delta\sigma}{E} = \begin{cases} \dfrac{\Delta\sigma}{E} = \mu\dfrac{\Delta\sigma}{E_{ep}} \quad \text{при}\,\sigma_z \le p_c, \\ \dfrac{\sigma_z - p_c}{E_{ep}} + \dfrac{p_c - \sigma_0}{E_e} = \dfrac{\sigma_z - p_c + \mu(p_c - \sigma_0)}{E_{ep}} \quad \text{при}\,\sigma_z > p_c, \end{cases} \tag{6}$$

где $\sigma_z=\sigma_0+\Delta\sigma$ — действующее после приложения нагрузки вертикальное напряжение в массиве; σ_0 — начальное напряжение (до приложения нагрузки, но уже после отрывки котлована под фундамент); E_e, E_{ep} — упругий и упруго-пластический модули деформации; $\mu=E_{ep}/E_e$.

Упругий модуль (модуль разгрузки) превосходит упруго-пластический в 5...10 раз, т.е. коэффициент $\mu = 0{,}1...0{,}2$. Так называемый штамповый модуль E_0, который и в СНиП 2.02.01-83, и в СНиП 2.02.02-85 считается основным (и к нему с помощью коэффициентов Агишева-Игнатовой приводятся «компрессионные» модули), в рамках модели (6) оказывается величиной промежуточной между E_e *и* E_{ep}, причем он тем ближе к первому, т.е. тем больше, чем выше значение структурной прочности p_c вблизи подошвы штампа. Это объясняет, на наш взгляд, почему коэффициенты Агишева-Игнатовой увеличиваются с ростом плотности грунта. Причина чрезвычайно большой величины этих коэффициентов заключается, на наш взгляд, в занижении на практике «компрессионных» модулей из-за:

– завышения измеряемых деформаций по штампу одометра по сравнению с «истинными», которые можно измерить в центре образца;

– завышения расчетных значений коэффициента Пуассона, что приводит к занижению участвующего в определении модуля коэффициента β).

Однако сейчас имеющихся материалов для оценки E_{ep} недостаточно, и естественным решением будет принять $E_{ep} = E_0$. Для замыкания модели остается только выбор p_c. Простейший такой выбор сделан в СНиП 2.02.02-85, где послойное суммирование ведется в рамках билинейной модели в предположении, что структурная прочность совпадает с природным давлением.

Имеются также предложения связать p_c с сопротивлением сдвигу [9], [13]. Не оценивая этих предложений по существу, отметим, что в рамках подхода, использующего только вертикальные напряжения, реализовать их невозможно. Поэтому структурную прочность естественно отождествить с давлением предуплотнения, которое определяется в компрессионных испытаниях методом Казагранде [16]. В западной литературе давление предуплотнения обычно связывают со степенью переуплотнения OCR и природным давлением

$$p_c = \mathrm{OCR}\sigma_{zg}\,. \tag{7}$$

Однако этот коэффициент непостоянен в пределах слоя (инженерно-геологического элемента) и потому не может в действительности считаться характеристикой грунта. Если следовать рассуждениям Л.Бьеррума [17], p_c следует представлять в виде

$$p_c=R\sigma_{zg}+\Delta p_c\,, \tag{8}$$

где R — некоторый коэффициент, связанный с возрастом депозита, Δp_c — давление переуплотнения, связанное с максимальными давлениями, действовавшими на грунт в течение истории его формирования. Эти величины постоянны в пределах ИГЭ и могут считаться параметрами грунта. Как показывают многие полевые измерения, коэффициент R близок к 1, и это уменьшает число реальных параметров модели.

Сопоставление с данными натурных измерений проведено с использованием результатов работ, выполненных в лаборатории механики грунтов НИИОСП под руководством К.Е.Егорова. Рассмотрено 28 сооружений с круглыми, кольцевыми и прямоугольными фундаментными плитами. Часть результатов приведена на рис. 4. Сопоставительные расчеты проводились тремя способами: по нормативным моделям ЛПП и ЛС и по предлагаемой билинейной модели. При этом расчет по ЛПП велся с отступлением от СНиП — дополнительные напряжения вычислялись от нагрузки за вычетом бытового давления на уровне подошвы, т.е. как для малых фундаментов. Расчет по предлагаемой модели проводился с использованием всех вышеописанных допущений при следующих значениях расчетных параметров: $\beta_c = 0{,}8$; $\beta_u = 1$; $\mu = 0{,}12$; $\Delta p_c = 50$ кПа для глинистых грунтов и $\Delta p_c = 0$ для песков. Расчеты по ЛПП и ЛС велись по методике СНиП с тем отличием, что для ЛПП осадка подсчитывалась не в центре фундамента, а в точке, лежащей посередине между центром и краем (углом). По предлагаемому методу расчет производился как для жесткого штампа по программе SETTLE методом ПГЭ.

Все измеренные и расчетные значения осадок можно разбить на две группы: осадки обычных зданий и сооружений до 150 мм (если Останкинскую башню с осадкой 65 мм считать обычным сооружением) и осадки реакторных отделений АЭС порядка 400 мм. Это разделение хорошо видно на рисунке. Следует отметить, что приводимые ниже статистические характеристики для обеих групп результатов близки по всем методам расчетов.

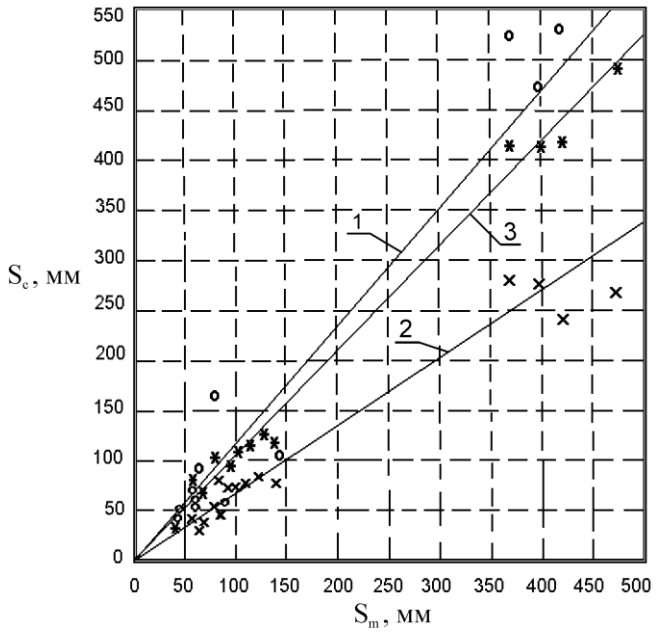


Рис. 4. Сопоставление измеренных осадок S_m с расчетными S_c по методам **o** — линейно деформируемого полупространства (1); **x** — линейно деформируемого слоя (2); ∗ — послойного суммирования с учетом структурной прочности (3). Номерами отмечены линии регрессии

Для статистической оценки в качестве меры точности (неточности) рассматриваемых методов бралось соотношение расчетной и измеренной осадок $S = S_c / S_m$. Оказалось, что для первого нормативного метода (ЛПП) среднее значение этой величины $\overline{S} = 1{,}162$, ее дисперсия $d = 0{,}345$, а вариация $V = d / \overline{S} = 0{,}297$. Для второго нормативного метода (ЛС) $\overline{S} = 0{,}679$, $d = 0{,}096$, $V = 0{,}141$. Наконец, для предлагаемого метода (билинейная модель) $\overline{S} = 1{,}052$, $d = 0{,}131$, $V = 0{,}125$.

Как видим, метод ЛПП несколько переоценивает осадку (если бы мы в расчете использовали полную нагрузку на основание, как рекомендуют СНиП, эта переоценка была бы очень значительной), но основной дефект этого метода расчета осадки состоит в очень большом разбросе его результатов. Более серьезные претензии к методу ЛС, который систематически занижает осадки, причем с ростом осадок эта тенденция

нарастает. Для нормативного метода расчета неконсервативность оценок — очень существенный недостаток. Наконец, предлагаемый метод наиболее точен и в то же время в наименьшем числе случаев недооценивает осадку. О его преимуществах с точки зрения расчета плит говорилось выше.

Подводя итоги, отметим, что предложенный метод расчета может использоваться не только для компьютерных вычислений, но и для «ручных» расчетов осадок (подобно нормативным методам). Очевидно, что совершенствовать этот метод можно по многим направлениям, особенно в том, что касается модели грунта и определения ее параметров (здесь следует отметить, что необходимость совершенствования выбора характеристик грунтов и методов их определения носит значительно более общий характер). Применительно к расчету плит следует исследовать возможность ограничения краевых контактных напряжений, т.е., видимо, как-то учесть конечную сдвиговую прочность грунта.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.Ф.Александровичу, А.Н.Власову и А.Т.Скороходову за помощь в проведении расчетов и обработке их результатов, а также М.Л.Дохнянскому, собравшему исходные данные для проведения сопоставительных расчетов.

17.4 Литература

[1] Травуш В.И. Функциональные прерыватели Герсеванова и расчет конструкций на упругом основании // Основания, фундаменты и механика грунтов.— 2000.– №4.— С.18–23.

[2] Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. — М.: Стройиздат, 1984.

[3] Расчет балки на упругом основании без гипотезы Циммермана-Винклера / Сб. тр. НИС Фундаментстроя. — М.—Л.: ОНТИ, 1937.

[4] Флорин В.А. Основы механики грунтов.— Т.1. — Л.—М.: Госстройиздат, 1959.

[5] Зарецкий Ю.К. Об обобщении метода П.И.Клубина решения плоской контактной задачи // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1974. — №2.

[6] Коренев Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании.— М.: Госстройиздат, 1954.

[7] Федоровский В.Г., Безволев С.Г., Дунаева О.М. Методика расчета фундаментных плит на нелинейно деформируемом во времени основании // Нелинейная механика грунтов: Тр. IV Рос. конф. —Т.1.— С.-Петербург, 1993.

[8] Ефремов М.Г., Коновалов П.А., Михеев В.В. К вопросу о распределении послойных деформаций грунта в сжимаемой толще глинистых и песчаных оснований (по материалам полевых испытаний) // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1963. — №6.

[9] Далматов Б.И., Чикишев В.М. Определение осадок фундаментов с учетом изменения модуля деформации глинистого грунта в зависимости от напряженного состояния // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1984. — №1.

[10] Федоровский В.Т., Дохнянский М.Л. Осадки круглых и кольцевых фундаментов: прогноз и сопоставление с данными натурных наблюдений // Тр. II Балт. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. — Т.2. — Таллинн, 1988.— С.99–106.

[11] Широков В.Н., Мурашев А.К. Расчет осадок оснований с учётом структурной прочности грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1988. — №5. — С.21–23.

[12] Безволев С.Г., Федоровский В.Г., Александрович В.Ф. Совершенствование расчета осадок оснований методом послойного суммирования // Гидротехн. стр-во. — 1991. — №10.

[13] Копейкин В.С., Сидорчук В.Ф. Расчет осадок фундаментов с учетом влияния НДС на характеристики деформируемости грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1993. — №4. — С.8–13.

[14] Соловьев Л.Ю., Соловьев Ю.И. Распределение напряжений при действии на упругое полупространство сцепленного с ним кругового штампа // Изд. вузов. Стр-во.— 1995. — №5. — С. 22–26.

[15] Giroud J. P. Tables pour 1e calcul des fondations. —Liv. 1. — Paris, 1972.

[16] Тейлор Д. Основы механики грунтов. — М.: Госстройиздат, 1960.

[17] Bjerrum L. Problems of soil mechanics and construction on soft clays // Proc. VIII ICSMFE.—Vol.3. — Moscow, 1973. — P.111–159.

Нормативная литература

ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

ГОСТ 1759.4-87 Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний. – М.: Госстандарт СССР, 1987.

ГОСТ 22356-77*. Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия. – М.: Госстандарт СССР.

ГОСТ 20069-81. Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием.

ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.

ГОСТ 24942-81. Грунты. Методы полевых испытаний эталонной сваей.

ГОСТ 20522-75. Грунты. Метод статистической обработки результатов определений характеристик.

ГОСТ 8239-89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1989.

ГОСТ 26020-83. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1983.

ГОСТ 7307-75*. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку.

ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – М.: Госстандарт СССР, 1981.

ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету (СТ СЭВ 384-87). – М.: Госстандарт СССР, 1989.

ГОСТ 12.1.005-88 (1991). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Госстандарт СССР, 1988.

ГОСТ 24454-80. Пиломатериалы хвойных пород. Размеры.

ГОСТ 103-76*. Полоса стальная горячекатаная. – М.: Госстандарт СССР.

ГОСТ 27772-82. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. – М.: Госстандарт СССР, 1983.

ГОСТ 27772-88*. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия. – М.: Госстандарт СССР. П ЦПП, 2001. – 76 с.

ГОСТ 19903-74. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР.

ГОСТ 19904-90. Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР.

ГОСТ 82-70*. Прокат стальной горячекатаный широкополосной универсальный. – М.: Госстандарт СССР.

ГОСТ 23279-85. Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий. Общие технические условия.

ГОСТ 21.501-2011 (ДСТУ Б А.2.4-7-95). Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации архитектурных и конструктивных решений.

ГОСТ 21.1101-2013 (ДСТУ Б А.2.4-4-99). Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.

ГОСТ 7473-94 (ДСТУ Б В.2.7-96-2000). Смеси бетонные. Технические условия.

ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. II. Периодические профили. – М.: Госстандарт СССР, 1983.

ГОСТ 14098-91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.

ГОСТ 8240-89. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1989.

ГОСТ 8509-86. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1986.

ГОСТ 8510-86*. Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1986.

ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. – М.: Госстандарт СССР, 1993.

ДБН В.2.6-14-97. Конструкції будинків та споруд. Покриття будівель і споруд:Державні будівельні норми України / Держбуд України. – Укрархбудінформ, 1997.

ДБН В.1.2-2:2006 Нагрузки и воздействия. – Минстрой Украины, Киев, 2006 – 60 с.

ДБН 362-92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений / Госстрой Украины. – К.: Укрархстройинформ, 1993. – 46 с.

ДБН В.2.1-10-2009 "Основи та фундаменти споруд" / Мінрегіонбуд України. – Київ: 2009. – 104 с.

ДБН В.2.6-163:2010 "Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу" / Мінрегіонбуд України. – Київ: 2011. – 226 с.

ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції. Норми проектування " / Мінрегіон України. – Київ: 2014. – 199 с.

ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогибы и перемещения» Минстрой Украины, Киев, 2006 – 10 с.

ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Рохрахунок конструкцій на вогнестійкість / Мінрегіон України. – Київ: 2016. – 146 с.

ДСТУ Б В.2.1-27:2010 "Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань" (рус. "Основания и фундаменты сооружений. Сваи. Определение несущей способности по результатам полевых испытаний").

СНиП II-25-80. Деревянные конструкции / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001 – 30 с.

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Госстрой России, 2004. – 24 с.

СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции: Строительные нормы и правила / Минстрой России. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

СНиП II-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции. Строительные нормы и правила. – М.: Стройиздат. – 1976. – 89 с.

СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы и правила. / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 40 с.

СНиП 2.08.01-85. Механизация строительного производства. Рельсовые пути башенных кранов: Строительные нормы и правила. – М.: Госстрой СССР, 1985.

СНиП 2.01.07-85. «Нагрузки и воздействия» Госстрой СССР.– М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.– 36 с.

СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. Строительные нормы и правила / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 44 с.

СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. Строительные нормы и правила. – М.: Стройиздат, 1984.

СНиП 2.03.13-88. Полы: Строительные нормы и правила / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1988. – 27 с.

СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002.

СНиП 53-01-96. Стальные конструкции: Проектирование / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова, УкрНИИпроектстальконструкция, Энергосетьпроект и МИСИ им. В.В. Куйбышева. – М., 1991.

СНиП II-23-81*. Стальные конструкции: Строительные нормы и правила / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 96 с.

СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика: Строительные нормы и правила / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 136 с.

СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат 1982. – 40 с.

СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. Строительные нормы и правила / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 52 с.

СНиП РК 5.04-23-2002 Стальные конструкции нормы проектирования, строительные нормы и правила республики Казахстан.

СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: 2003. – 126 с.

СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций, М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 131 с.

СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений, М.: ГУП ЦПП, 2005. – 130 с.

СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов, М.: ГУП ЦПП, 2005. – 81 с.

СП 20.13330.2011 "СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 80 с.

СП 64.13330.2011 "СНиП 2.01.07-85* "Деревянные конструкции" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 87 с.

СП 22.13330.2011 "СНиП 2.02.01-83* "Основания зданий и сооружений" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 162 с.

СП 24.13330.2011 "СНиП 2.02.03-85 "Свайные фундаменты" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 86 с.

СП 16.13330.2011 "СНиП II-23-81* "Стальные конструкции" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ – М.: 2011. – 172 с.

СП 15.13330.2012 "СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 74 с.

СП 63.13330.2012 "СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2011. – 156 с.

СП 20.13330.2016 "СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2017.

СП 16.13330.2017 "СНиП II-23-81* "Стальные конструкции" / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2017. – 148 с.

СП 294.1325800.2017 Конструкции стальные. Правила проектирования/ Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – М.: 2017.

СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования. – М.: 2016. – 117 с.

ТСН 102-00. Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400С: Территориальные строительные нормы г. Москвы.

EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of Steel Structures. – Part 1.1: General rules and rules for buildings. – Brussels (Belgium): CEN, 1992. – 344 p.

EN 1993-1-1/pr A2. Design of Steel Structures. Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings. Revised annex J: Joints in Building Frames. – Brussels (Belgium): CEN, 1994. – 70 p.

EN 1993-1-8:2005. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. – Brussels (Belgium): CEN, 1992.

EN 10025-2:2004. Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels.

EN 10025-3:2004. Hot rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels.

EN 10025-4:2004. Hot rolled products of structural steels – Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanically rolled-weldable fine grain structural steels.

EN 10025-5:2004. Hot rolled products of structural steels – Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance.

EN 10025-6:2004. Hot rolled products of structural steels – Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition.

EN 10210-1: 2006. Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 1: Technical delivery conditions.

EN 10219-1:2006. Cold formed structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels – Part 1: Technical delivery conditions.

EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General structural rules.

EN 1090-1:2009. Execution of stell structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components.

EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings.

EN ISO 898-1:1999-12. Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs.

EN 14399-3:2005-08. High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 3: System HR – Hexagon bolt and nut assemblies.

EN 14399-4:2005-08. High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 4: System HV – Hexagon bolt and nut assemblies.

EN 14399-5:2006. High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 5: Plain washers (includes AC: 2006).

EN 14399-6:2006. High-strength structural bolting assemblies for preloading – Part 5: Plain chamfered washers.

EN 15048-1:2007-07. Non-preloaded structural bolting assemblies – Part 1: General requirements.

EN 1993-1-5:2005. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements. – Brussels (Belgium): CEN, 2005.

EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. – Brussels (Belgium): CEN, 2006.

Eurocode 3 – Design of steel structures, Part 1.1 General rules and rules for buildings, European Prestandard ENV 1993-1-1, CEN, Brussels, February 19.

STR 2.05.08:2005. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos i skyrius. Bendrosios nuostatos.