

СОДЕРЖАНИЕ тома II

9. УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ ПЛАСТИН – ПЛАСТИНЫ КИРХГОФФА-ЛЯВА И РЕЙССНЕРА	1
9.1 Устойчивость равновесия пластин Кирхгоффа-Лява	2
9.1.1 Основные соотношения теории тонких пластин	2
9.1.2 Вариационный вывод уравнения устойчивости равновесия пластин Кирхгоффа-Лява	8
• Краевые условия	14
9.1.3 Устойчивость равновесия консольной полосы	17
9.1.4 Задача Зоммерфельда	21
• Устойчивость равновесия полуполосы, усиленной нитью.....	22
• Устойчивость равновесия полуполосы без нити	25
9.1.5 Задача Саусвелла - Скэн	30
9.1.6 Устойчивость равновесия круглых пластин	32
• Устойчивость равновесия круглой пластины под действием радиального сжатия силами на ее контуре	34
• Функционал устойчивости равновесия пластины в полярных координатах	42
• Устойчивость равновесия круглой пластины под действием крутящего момента – задача Дина	43
9.2 Устойчивость равновесия пластин Рейсснера	48
9.3 Гибкие пластины – теория Кармана	51
9.3.1 Вариационная постановка задачи	58
9.4 Закритическое поведение тонких пластин	62
9.4.1 Характер закритического деформирования	62
• Модельная задача	64
9.4.2 Решение на основе теории Кармана	66
9.5 Заключительные комментарии к главе 9	73
10. СИСТЕМЫ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ	75
10.1 Краткие сведения из теории систем с односторонними связями	75
10.1.1 Предварительные соображения	75
10.1.2 Ограничения возможных перемещений	79
10.1.3 Условия равновесия	81
10.2 Критическое значение интенсивности нагрузки	86
10.3 Определение верхней критической нагрузки	96
10.4 Иллюстративные примеры	102
10.5 Высотное сооружение на одностороннем упругом основании	109
10.6 О дестабилизации систем с односторонними связями	111
10.7 Заключительные комментарии к главе 10	115
11. УСТОЙЧИВОСТЬ РАВНОВЕСИЯ ПЛОСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ	119
11.1 Плоские стержневые системы	120

11.1.1	Общее решение однородных уравнений устойчивости равновесия для отдельного стержня	123
11.1.2	Матрица жесткости отдельного стержня	131
	• Матрица жесткости стержня при иных способах закрепления его концов	135
	• Некоторые свойства функций Корноухова и процедура их вычисления	139
	• Матрица начальной жесткости и матрица геометрической жесткости для стержня	143
11.1.3	Критерий критического состояния стержневой системы	131
	• Нужны ли высшие формы потери устойчивости?	153
	• О качественном методе определения критических нагрузок	154
11.1.4	Пример. Об одном парадоксе в задачах устойчивости ..	158
11.1.5	Задача Бубнова	166
11.1.6	Жесткие вставки на концах стержня	170
	• О возможной ошибке в расчетах на устойчивость при наличии жестких тел	175
11.2	Расчет плоской стержневой системы по деформированной схеме	175
11.2.1	Деформационный расчет отдельного стержня	176
	• Метод начальных параметров	177
	• Реакции на концах стержня от поперечных воздействий	180
11.2.2	Моноциклический, квазимоноциклический и полициклический расчеты стержневых систем	186
11.2.3	Формула Мора применительно к сжато-изогнутым стержневым системам	188
11.3	Заключительные комментарии к главе 11	196
12.	МКЭ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ	199
12.1	Основные понятия МКЭ	201
12.1.1	Функции форм и матрица функций форм для конечного элемента	203
12.1.2	Общие требования к функциям форм	205
12.1.3	Сравнительный анализ различных функций форм	208
12.1.4	Общие формулы для матриц R_0 и G	211
12.2	Матрицы жесткости стержня в плоской задаче	212
12.2.1	Стержень Бернулли-Эйлера	213
12.2.2	Стержень Тимошенко	215
	• Модель <i>I</i> : линейные аппроксимации перемещений и поворотов	217
	• Модель <i>II</i> : связанные аппроксимации перемещений и поворотов. Линейно-квадратичные функции формы	219
	• Модель <i>III</i> : кубически-квадратичные аппроксимации перемещений	222
	• Общее представление матриц R_0 и G для стержня Тимошенко. Сопоставительный анализ трех конечноэлементных моделей	225
	• Пример	228

12.3 Матрица жесткости пространственного стержня	232
12.3.1 Стержень Бернулли-Эйлера	232
12.3.2 Стержень Тимошенко	240
12.3.3 Жесткие вставки на концах стержня	247
12.3.4 Геометрическая матрица жесткости узла	256
12.4 Пластинчатые конечные элементы	259
12.4.1 Конечные элементы пластины применительно к функционалу S_{lv}	260
• Прямоугольный конечный элемент	262
12.4.2 Конечные элементы изгибаемой пластины	266
• Пластина Кирхгоффа-Лява	268
• Пластина Рейсснера	273
12.4.3 Гибридная схема МКЭ	278
• Стержень Тимошенко	282
• Пластина Рейсснера	286
12.5 Абсолютно жесткие тела в составе дискретных расчетных схем	291
12.6 Соотношения МКЭ для геометрически нелинейных постановок задач	293
12.6.1 Четыре этажа геометрически нелинейных постановок задач	293
12.6.2 Разложение деформаций на сумму линейной и квадратичной частей. Теория второго порядка	297
12.6.3 Матрично-операторная форма представления функционала полной потенциальной энергии системы	304
12.6.4 Уравнения в приращениях	309
12.6.5 Постановки задач устойчивости равновесия	317
• Возможные упрощения в постановке задачи устойчивости равновесия	318
• Коэффициент запаса устойчивости	320
12.7 Заключительные комментарии к главе 12	324
13. ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ	325
13.1 Предварительные замечания	325
13.2 Геометрическая нелинейность для стержней ферменного типа	329
• Геометрические уравнения	329
• Уравнения равновесия	334
• Физическое уравнение	337
• Пример	339
13.2.1 Геометрически нелинейные уравнения в вариациях	343
13.3 Устойчивость конфигурации изменяемой системы	348
• Статико-кинематическая классификация	349
• Критерий отбора мгновенно-жестких систем	355
13.4 Выпучивание узлов из плоскости фермы	358
• О свободной длине сжатых раскосов	361
13.5 Оценка усилий в нулевых стержнях	362
13.6 Оценка влияния жесткости узлов	364

13.7 Составные стержни	370
13.7.1 Идеализированная схема	370
13.7.2 Влияние начальных несовершенств	373
13.7.3 Взаимодействие форм выпучивания	377
13.7.4 Пространственные сквозные сжатые стержни	383
• Четырехгранные стержни	383
• Трехгранные стержни	386
14. ДИНАМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ И НЕКОНСЕРВАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ	387
14.1 Динамический анализ устойчивости равновесия	387
14.1.1 Первоначальные сведения	387
14.1.2 Система с одной степенью свободы	392
• Мертвая сила	393
• Следящая нагрузка	395
• Полярная нагрузка	397
• Комбинированное нагружение мертвой и следящей нагрузками	398
• Сила Реуга	402
14.2 Системы со многими степенями свободы	404
14.2.1 Общие положения	404
• Консервативная система	412
• Нелинейная система, общий случай	415
14.2.2 Система с двумя степенями свободы – детальный анализ	416
• Общий анализ устойчивости равновесия системы с двумя степенями свободы	420
14.2.3 О влиянии связей на устойчивость равновесия неконсервативных систем	422
14.2.4 Демпфирование и его роль в проблеме устойчивости равновесия	425
• Неконсервативные внешние силы и диссипация. Парадокс Циглера	429
14.3 Задача Николаи	437
• Тангенциальный внешний момент – статический анализ	441
• Аксиальный внешний момент – статический анализ	442
• Тангенциальный внешний момент – динамический анализ	442
14.4 Континуальные неконсервативные системы	446
• Состав вариаций внешних сил при консервативном и неконсервативном нагружениях	449
14.4.1 Дискретизация консервативных и неконсервативных систем	453
• Метод Бубнова – Галеркина общий случай	454
• Метод Бубнова – Галеркина с использованием фундаментальных базисных функций	458

• О методе конечных элементов для неконсервативных задач	459
• Дискретизация по массе	459
14.5 Задача Бека	461
• Случай силы постоянного направления	462
• Случай следящей силы	465
• Обобщенная задача	467
14.6 Флаттер при истечении жидкости из трубы	470
14.7 Модели с усеченным числом инерциальных характеристик	474
• Консервативная система	475
• Неконсервативная система	479
14.7.1 О влиянии усечения системы по массе на изменение области устойчивости равновесия	482
• Стержень Бека с двумя сосредоточенными массами	484
14.7.2 О критике динамического критерия устойчивости равновесия	489
14.8 О применении статического подхода к решению неконсервативных задач	491
14.9 Заключительные комментарии к главе 14	496
• О парадоксе Смита - Геррманна	497
• Следящая сила как "гадкий утенок механики"	499
15. ЗАКРИТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ	501
15.1 О закритической работе стержней	502
15.1.1 Критическое состояние рамных конструкций	502
15.1.2 Стержень, концы которого сопротивляются осевым смещениям	503
• О закритическом поведении стержней в составе стержневой системы	506
15.2 Рамные системы	510
15.2.1 Возможность прощелкивания	510
15.2.2 Расчет по смешанному методу	512
• Формула Бениаминова	516
• Пример	519
15.3 Использование закритической работы пластин	520
15.3.1 Редукционный коэффициент	520
15.3.2 Закритическое поведение пластин при сдвиге	526
15.4 Послекритическое взаимодействие форм потери устойчивости	328
15.4.1 Общая и местная формы выпучивания тонкостенного стержня	529
15.5 Заключительные комментарии к главе 15	536
16. РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ	537
16.1 Устойчивость многоэтажного здания: влияние жесткости перекрытий	538
16.2 Конечноэлементное моделирование тонкостенных	

стержней	542
16.3 Устойчивость мачт на оттяжках	545
16.3.1 Вантовые элементы в расчетной модели	546
16.3.2 Возможные подходы к решению задачи	551
16.4 Энергетическая оценка роли отдельных подсистем	552
16.4.1 Стесненная и принужденная потеря устойчивости	552
16.4.2 Энергетические характеристики	554
16.4.3 Модификация конструкции	560
16.4.4 О вычислении свободных длин	561
16.5 Чувствительность критической нагрузки к изменению жесткостей системы	564
16.5.1 Равноустойчивость и оптимизация конструкции	565
• Пример оптимизации по устойчивости	569
16.6 Приближенная оценка поведения железобетона	573
15.6.1 Выбор значения модуля упругости для проверки устойчивости	573
16.6.2 Приближенная оценка эффектов ползучести	577
16.6.3 Пример расчета реальной железобетонной конструкции	579
ПРИЛОЖЕНИЯ	583
Ф. Жордановы исключения и их роль в строительной механике	583
F.1 Общее описание	584
F.2 Жордановы исключения с матрицей жесткости системы	587
F.3 Матрица жесткости элемента при нежестком присоединении элемента к узлам.....	591
F.4 Двойное жорданово исключение	597
F.5 Жордановы преобразования в задачах устойчивости. Процедура геометрической конденсации	598
Г. Асимптотический анализ конечноэлементных моделей для стержня Тимошенко	600
Н. Обобщенная задача Тимошенко	606
Н.1 Точное решение задачи	609
Н.2 Решение задачи методом Ритца	612
И. Сильный изгиб стержней	615
• Геометрические уравнения	615
• Физические уравнения	619
• Уравнения равновесия	620
• Упрощения на младших этажах геометрической нелинейности	622
• Пример. Устойчивость стержня при кинематическом воздействии	624
• Пример. Чистый изгиб стержня	629
Ж. К вопросу о математической модели сдвигового стержня в задачах устойчивости равновесия	630
ЛИТЕРАТУРА	639
ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	659
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	664