

*SCAD Group*



**К Р О С С**

**Определение коэффициентов  
постели по результатам  
геологических изысканий**

**Руководство пользователя**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |          |
|--|----------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ.....                                 | 4        |
| СИСТЕМА КООРДИНАТ .....                          | 4        |
| ФАЙЛЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ПРОГРАММОЙ .....              | 4        |
| СТРУКТУРА МОДЕЛИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....          | 4        |
| <b>ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ .....</b>                 | <b>6</b> |
| ОКНО ПРОГРАММЫ .....                             | 6        |
| ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ .....                        | 6        |
| <i>Единицы измерений</i> .....                   | 7        |
| <i>Прочие параметры</i> .....                    | 8        |
| МЕНЮ .....                                       | 9        |
| СТРОКА СОСТОЯНИЯ .....                           | 11       |
| КУРСОРЫ.....                                     | 11       |
| ОПЕРАЦИИ .....                                   | 11       |
| <i>Новый</i> .....                               | 11       |
| <i>Открыть</i> .....                             | 12       |
| <i>Сохранить</i> .....                           | 12       |
| <i>Сохранить как</i> .....                       | 12       |
| <i>Расчет</i> .....                              | 13       |
| <i>Отчет</i> .....                               | 13       |
| <i>Поля</i> .....                                | 14       |
| <i>Сохранить изображение</i> .....               | 15       |
| <i>Отмена</i> .....                              | 15       |
| <i>Восстановить</i> .....                        | 16       |
| <i>Габариты</i> .....                            | 16       |
| <i>Фундаментная плита</i> .....                  | 16       |
| <i>Корректировка контура плиты</i> .....         | 17       |
| <i>Существующее здание</i> .....                 | 17       |
| <i>Проем</i> .....                               | 17       |
| <i>Удалить</i> .....                             | 18       |
| <i>Сгладить угол</i> .....                       | 18       |
| <i>Переместить</i> .....                         | 18       |
| <i>Вершины</i> .....                             | 19       |
| <i>Удалить вершины</i> .....                     | 19       |
| <i>Нагрузка</i> .....                            | 20       |
| <i>Добавить скважину</i> .....                   | 20       |
| <i>Удалить скважину</i> .....                    | 20       |
| <i>Параметры скважин</i> .....                   | 21       |
| <i>Разрез</i> .....                              | 23       |
| <i>Измерение расстояний</i> .....                | 25       |
| <i>Начало координат</i> .....                    | 25       |
| <i>Шаг сетки</i> .....                           | 26       |
| <i>Сетка</i> .....                               | 26       |
| <i>Поля для зданий</i> .....                     | 27       |
| <i>Увеличение и уменьшение изображения</i> ..... | 28       |
| <i>Вызов справки</i> .....                       | 28       |
| <i>О программе</i> .....                         | 28       |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>  | <b>29</b> |
| 1. ПРОГНОЗ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ И ВЫБОР МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЛИТ | 29        |
| 2. СЕРВИСНЫЕ ФУНКЦИИ .....  | 39        |
| <i>Вычисление по формулам.....</i>  | <i>39</i> |
| <i>Преобразование единиц измерений .....</i>  | <i>41</i> |

## Предисловие

Программа КРОСС предназначена для вычисления первого коэффициента постели (коэффициент Винклера) по результатам геологических изысканий. В программе реализована методика, разработанная специалистами НИИОСП. КРОСС разработан авторским коллективом *SCAD Group* совместно с НИИОСП в составе: Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Семенцов А.И., Федоровский В.Г.

## Система координат

Используется правоориентированная декартова система координат (X, Y, Z). Ось X — продольная ось здания или сооружения, направленная из плоскости чертежа на наблюдателя. Ось Z мыслится вертикальной и направленной на чертеже снизу вверх, ось Y — горизонтальная с положительным направлением вправо.

## Файлы, создаваемые программой

Программа КРОСС создает, читает и сохраняет результаты в файлах с расширением .CRS.

## 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 пятно проектируемого сооружения и соседних объектов представлены в виде замкнутых многоугольников (возможно с проемами), каждый из которых передает на грунт нагрузку определенной (и постоянной для этого пятна) интенсивности, 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 при помощи указания отметок устьев скважин. Другие данные геодезической съемки не используются. Ввод данных выполняется на координатной сетке, шаг которой задается пользователем.

Рекомендуется следующая 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);
- ☞ задание положения скважин;
- ☞ ввод информации о грунтах;
- ☞ задание параметров скважин.

Результатом расчета являются значения коэффициента постели (коэффициент Винклера) в любой точке фундаментной плиты.

Методика расчета разработана В.Г.Федоровским. Основные положения этой методики описаны в статье В.Г.Федоровский, С.Г.Безволев *“Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит”* / Основания, фундаменты и механика грунтов, 2000, № 4, с. 10-18. С любезного разрешения авторов текст этой статьи приводится в качестве приложения к данному документу.

# Элементы управления

## Окно программы

Окно программы **КРОСС** (рис. 1) включает меню, инструментальную панель, рабочее поле (с полосами прокрутки при необходимости) и строку состояния.

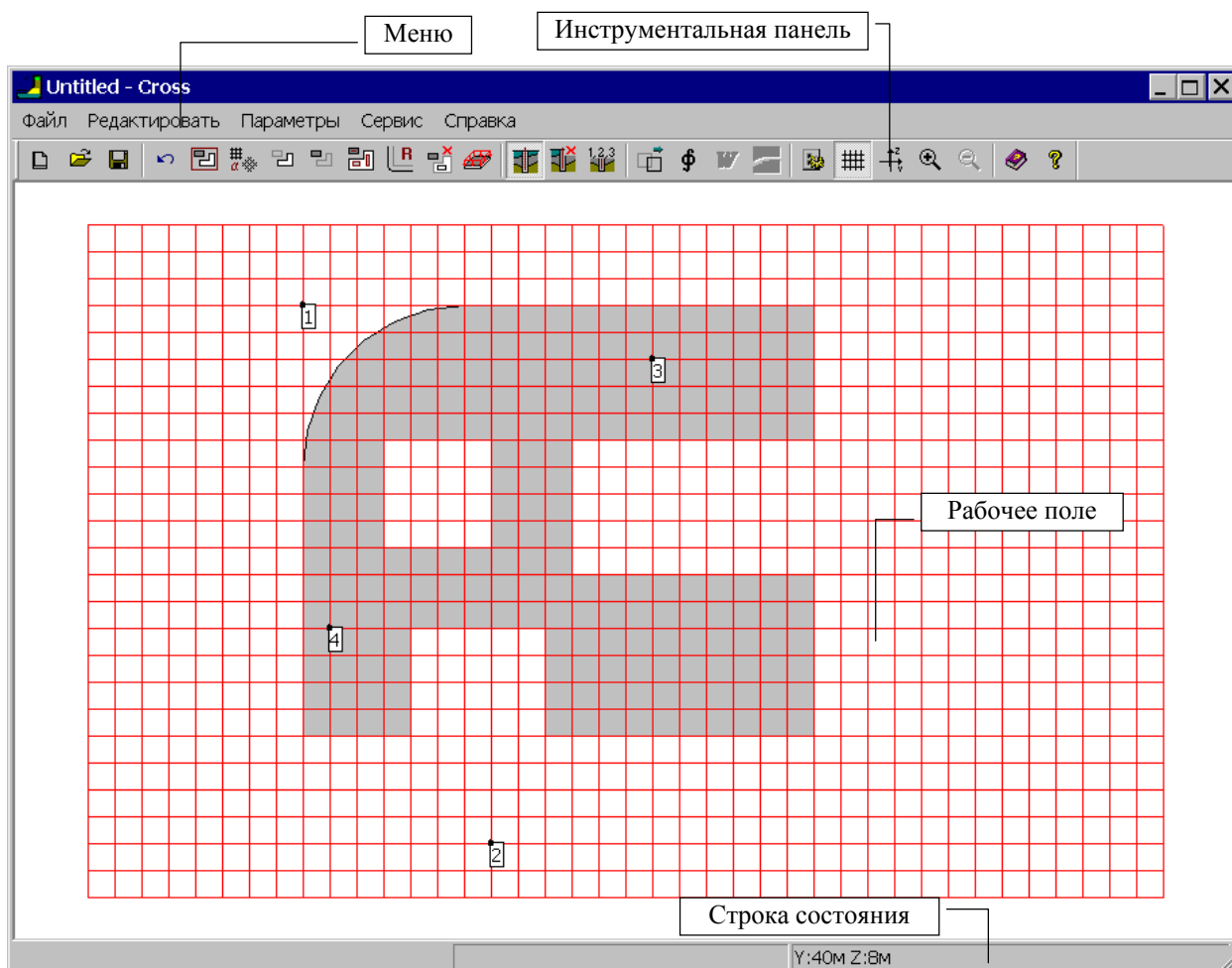



Рис. 1. Общий вид окна программы **КРОСС**

## Параметры настройки

Программа содержит функции настройки, с помощью которых назначаются единицы измерения основных величин и правила формирования отчета. Эти функции сосредоточены в многостраничном

диалоговом окне **Параметры**. Окно **Параметры** может быть вызвано из раздела меню **Опции**, а также из инструментальной панели (кнопка **Параметры настройки** — )

### **Единицы измерений**

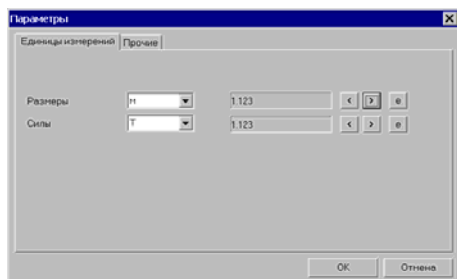


Рис. 2. Страница  
**Единицы измерений**  
диалогового окна **Параметры**

Страница **Единицы измерений** (рис. 2) используется для назначения единиц, в которых описываются **линейные размеры** и **силы**. Единицы выбираются из соответствующих выпадающих списков. Точность представления данных (количество значащих цифр после запятой) назначается с помощью кнопок **<** и **>**, а установка экспоненциальной формы числа — кнопкой **e**.

При назначении точности представления размеров сечения следует обратить внимание на то, что этот параметр влияет и на результаты операции измерения расстояния.

## Прочие параметры

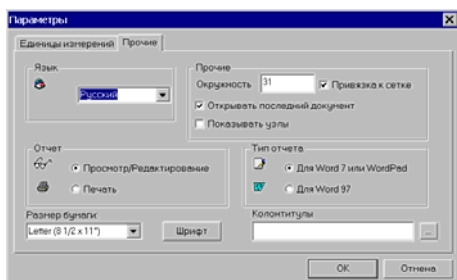


Рис. 3. Страница **Прочие** диалогового окна **Параметры** программы **Консул**

На странице **Прочие** (рис. 3) выполняется настройка следующих параметров:

- язык выдачи сообщений;
- режим работы с отчетом (просмотр/редактирование, печать);
- тип отчета (формат **RTF** файла);
- размер бумаги для печати отчета;
- установка стиля и размеров экранного шрифта;
- наименование файла с колонтитулами отчета.

Кроме того, в программе введены следующие дополнительные опции:

- автоматическое открытие последнего проекта при загрузке программы;
- задание количества узлов на полной окружности при скруглении углов;
- привязка курсора к узлам сетки;
- отображение узлов на контуре.

**Язык** выдачи сообщений — определяет язык представления информации, выбираемой из выпадающего списка.

Для работы с отчетным документом в группе **Отчет** может быть выбран режим **Просмотр/Редактирование** или режим **Печать**. В режиме **Просмотр/Редактирование** нажатие кнопки **Отчет** позволяет просмотреть текст отчета на экране и отредактировать его. Для этого вызывается приложение, ассоциированное с форматом **RTF** файла (например, WordPad или MS Word). Естественно, что за исправления, внесенные в текст отчета (особенно, если исправлены результаты расчета), ответственность несет пользователь. Существуют различия в формате **RTF** файлов, которые используются программами MS Word v.7 и WordPad или программой MS Word 97. В связи с этим программа предоставляет возможность выбора формата **RTF** в группе **Тип отчета**.

Включение переключателя **Печать** в группе **Отчет** вызывает печать отчета в той форме, в которой он сформирован программой.

В группе **Тип отчета** определяется формат **RTF** файла, в зависимости от используемого приложения, ассоциированного с **RTF** файлом (MS Word v.7 / WordPad или MS Word 97). Здесь следует отметить, что корректное изображение объектов в рабочем поле можно получить только при использовании программы MS Word 97. В MS Word v.7 содержатся ошибки, которые, как правило, не позволяют отобразить такого рода графическую информацию.

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



Установка стиля и размеров экранного шрифта (кнопка **Шрифт**) — открывает стандартное окно Windows, в котором выбирается шрифт, стиль и размер для представления информации в рабочем поле.

Параметр **Колонтитулы** служит для выбора имени файла, в котором хранятся колонтитулы (файл формата **RTF**), причем пользователь может сам создать или модифицировать этот файл.

Если активна опция **Автоматически открывать последний проект**, то при загрузке программы будет одновременно загружаться и последний проект.

Параметр **Окружность** определяет количество узлов, используемых при аппроксимации вписанной окружности ломанной линией. При выполнении операции скругления углов количество точек на дуге скругления будет пропорционально центральному углу дуги.

Опция **Привязка к сетке** позволяет при построении контуров и назначении положения скважин автоматически привязывать точки перелома контура и скважины к узлам заданной сетки. Привязка выполняется к ближайшему к курсору узлу сетки.

Если активна опция **Показывать узлы**, то на контуре будут показаны узлы (точки перелома).

## Меню

Меню расположено в верхней части окна и содержит пять разделов: **Файл**, **Редактировать**, **Опции**, **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;
- **Вычислить** — вычисление коэффициентов постели;
- **Отчет** — формирование отчета;
- **Поля** — отрисовка изополей коэффициентов постели.
- **Сохранить изображение** — изображение на экране сохраняется в файле в формате метафайла Windows.

Раздел **Редактировать** включает следующий набор операций:

- **Отмена** — отмена последней выполненной операции;
- **Восстановить** — отмена действия последней команды **Отмена**;
- **Габариты** — задание габаритных размеров площадки, на которой располагается проектируемое сооружение и другие, влияющие на него объекты (эта и все после-

дующие 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;
- **Вершины** — корректировка координат вершин фундаментной плиты или существующих зданий;
- **Удаление вершин** — удаление одной или нескольких вершин;
- **Нагрузка** — задание нагрузки на фундаментную плиту (или существующее здание) и отметки подошвы;
- **Добавить 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.

Раздел **Параметры** содержит следующие операции:

- **Параметры** — вызов диалогового окна с параметрами настройки;
- **Шаг сетки** — назначение шага координатной сетки;
- **Сетка** — отображение координатной сетки в рабочем поле;
- **Координатные оси** — отображение координатных осей площадки;
- **Поля для зданий** — выбор этой опции позволяет увидеть не только изополя коэффициентов постели под фундаментной плитой, но и в области рядом стоящих зданий;
- **Дополнительные точки** — создание на изополях точек, для которых должны быть выведены маркеры со значениями коэффициента постели;
- **Увеличить изображение** — увеличение изображения площадки в рабочем поле;
- **Уменьшить изображение** — уменьшение изображения площадки в рабочем поле (операция становится доступна только после увеличения изображения).

Из раздела меню **Сервис** можно вызвать стандартный калькулятор Windows, калькулятор для расчета по формулам, программу преобразования единиц измерения.

Раздел меню **Справка** включает операции доступа к справочной информации.

## Строка состояния

Строка состояния (рис. 4) включает два поля: координаты текущего положения курсора и **Расстояние**. В первом поле выводятся координаты курсора. Второе поле используется для вывода расстояния между двумя точками площадки в режиме измерения.



Рис. 4. Строка состояния

## Курсоры

Все операции в рабочем поле выполняются с помощью курсора. При перемещении курсора 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). Если курсор попадает на контур сечения, он изображается в виде перекрестья, координаты центра которого и определяют текущее положение курсора. При попадании в узел курсор имеет вид перекрестья с мишенью.

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 измерений** окна **Параметры**). Координаты текущего положения курсора выводятся в строке состояния.

## Операции

Установка курсора на определенную кнопку на инструментальной панели и нажатие левой клавиши мыши активизирует соответствующую операцию или команду. Здесь и далее для обозначения указанной последовательности действий будет применяться выражение «нажатие кнопки на инструментальной панели».

### Новый

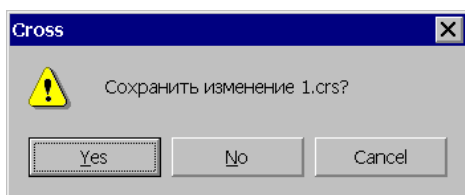


Рис. 5. Окно сообщений



Эта операция используется для подготовки новой площадки. В результате ее выполнения окно программы приводится в исходное состояние. Если текущая площадка была модифицирована, но не сохранялась, появляется запрос-предупреждение с предложением его сохранить (рис. 5).

## Открыть



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. 6). Как и в предыдущем случае, выполняется проверка и, при необходимости, выдается запрос-предупреждение о сохранении текущей площадки (рис. 5).

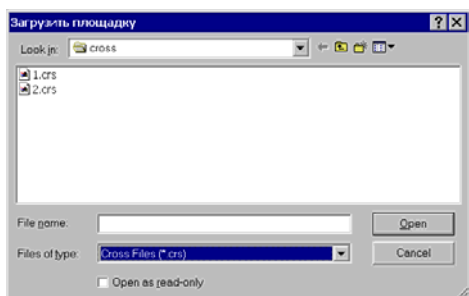


Рис. 6. Диалоговое окно  
Загрузить площадку

## Сохранить



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. 7).

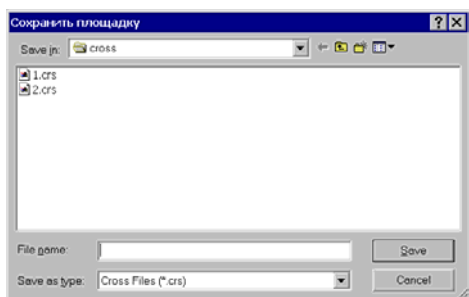


Рис. 7. Диалоговое окно  
Сохранить площадку

## 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. 7).

## Расчет

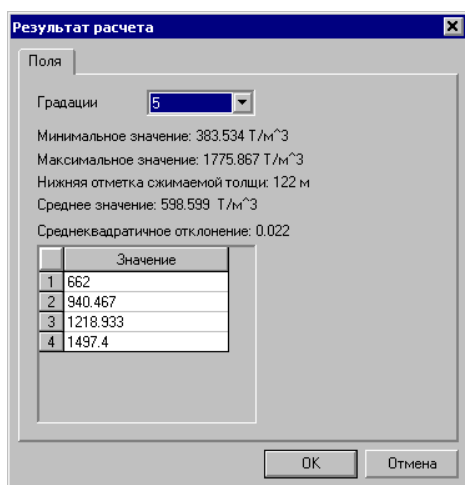


Рис. 8. Диалоговое окно  
Результаты расчета



В результате применения этой операции производится вычисление полей коэффициентов постели. После завершения расчета появляется диалоговое окно (рис. 8), в котором приводятся максимальное и минимальное значения коэффициента постели, отметка нижней границы сжимаемой толщи (если не задано наличие скального основания), среднее квадратичное значение коэффициента постели и среднее квадратичное отклонение. Кроме того, в окне можно выбрать количество цветовых диапазонов, которые будут использоваться при отрисовке изополей, а при необходимости — и изменить границы интервалов.

## Отчет



После активизации этой операции формируется отчет с результатами расчета. Отчет представляет собой файл в формате **RTF** (Rich Text Format). После завершения формирования отчета автоматически вызывается приложение, с которым ассоциирован формат **RTF** (например, MS Word или WordPad). При использовании программы MS Word существенной является его версия (это связано с изменениями формата данных). Версия установленной на компьютере программы задается при назначении параметров настройки (см. раздел **Прочие параметры**).

## Поля

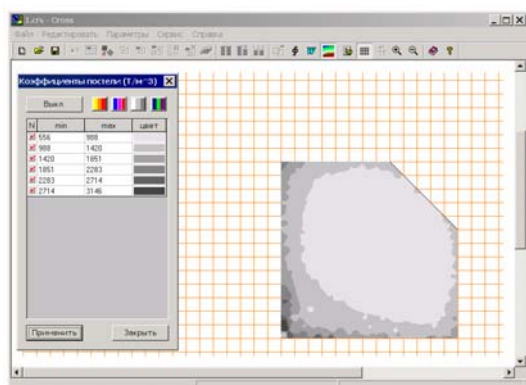


Рис. 9. Фундаментная плита с изополями коэффициентов постели

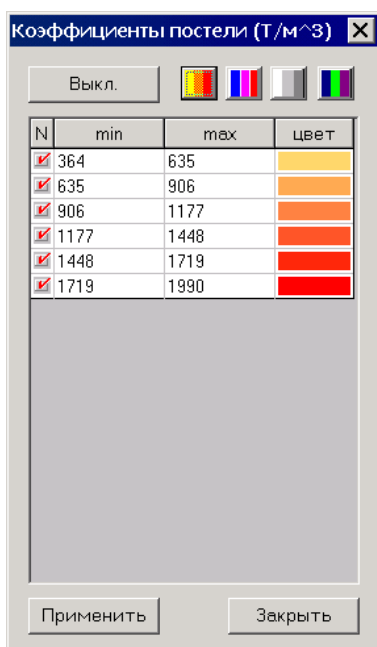


Рис. 10. Диалоговое окно Управление цветовой шкалой



Операция используется для построения изополей коэффициентов постели (рис. 9).

Элементы управления цветовой шкалой расположены в диалоговом окне **Коэффициенты постели** (рис. 10), которое появляется одновременно с построением изополей. Они позволяют управлять отображением в зависимости от характера результатов и технических возможностей компьютера. Каждому диапазону результатов, а значит и цвету, соответствует кнопка. Если она включена, то на модели будут отображены результаты, входящие в соответствующий диапазон. Отключив кнопки, можно отказаться от цветового отображения части результатов, имеющих несущественные значения анализируемого фактора. Для того чтобы отобразить на экране сделанные таким образом установки, используется кнопка **Применить**, установленная в нижней части диалогового окна.

Ряд верхних кнопок служит для управления цветовой гаммой шкалы. Смена цветовой гаммы на экране выполняется нажатием кнопки **Применить**.

Предлагаемые цветовые решения шкал не являются обязательными. Пользователь может заменить любой цвет в шкале или даже всю шкалу. Для этого надо подвести курсор к цветовому квадрату с заменяемым цветом и 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 одновременного отключения или включения всех кнопок 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, затем включение кнопок с интересующими значениями и нажатие кнопки **Применить**.

Существенное влияние на возможности получения ровной гаммы цветов оказывают технические возможности компьютера, в частности, объем видеопамати. Чем больше объем памяти, тем более качественную цветовую гамму можно использовать для работы.

Диалоговое окно с цветовой шкалой может занимать любое место на экране, может быть закрыто (кнопка **Заккрыть**) или вынесено за пределы рабочего поля (если окно программы занимает не все пространство экрана).

Отметим, что в данном режиме при перемещении курсора в области фундаментной плиты в

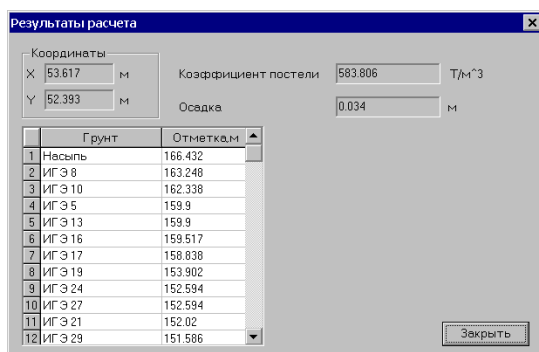


Рис. 11. Окно с результатами расчета в конкретной точке

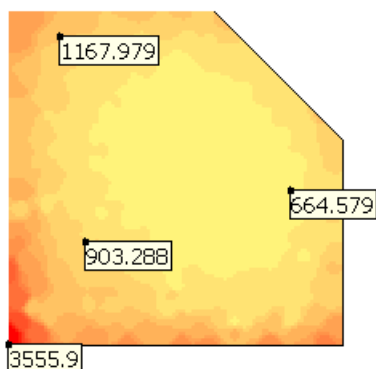




Рис. 12. Изополя с дополнительными маркерами

строке состояния выводится значение коэффициента постели в точке, соответствующей положению курсора.

Если необходимо изменить количество цветовых диапазонов, которые будут использоваться при отрисовке изополей или изменить границы интервалов — достаточно нажать на правую кнопку мыши. При этом появится диалоговое окно (рис. 8), в котором можно внести соответствующие изменения.

В данном режиме можно, кроме того, нажать левую кнопку мыши и получить окно (рис. 11) с результатами расчета с точки, на которую указывает курсор. В данном окне приводятся координаты точки, таблица со структурой грунтового массива, коэффициент постели и **осадка** подошвы плиты. Отметим, что информация об осадке приводится в предположении нулевой жесткости фундаментной плиты.

В инструментальной панели есть кнопка . Если она выбрана, то при нажатии левой кнопки мыши вместо вышеописанного окна (рис. 11) на изополях будут в соответствующих точках появляться дополнительные маркеры со значениями коэффициента постели в точках (рис. 12). Убрать эти дополнительные точки можно, нажав правую кнопку мыши. При этом появляется меню, которое дает возможность выбрать одну из двух операций: убрать дополнительные точки или активировать диалоговое окно для изменения параметров шкалы.

Аналогично полям коэффициентов постели можно получить и поля осадок. Для этого следует использовать кнопку  инструментальной панели (или соответствующий пункт меню).

## Сохранить изображение



Нажатие на эту кнопку приводит к вызову стандартного окна Windows для выбора имени файла. После выбора имени программа сохраняет изображение на экране в файле в формате метафайла Windows (.WMF), который может быть использован в дальнейшем при создании отчетного документа.

## Отмена



Нажатие на кнопку **Отмена** вызывает отмену предыдущей операции. Максимальная глубина истории не ограничена.

## Восстановить



Нажатие на кнопку **Восстановить** вызывает отмену действия последней команды **Отмена**.

## Габариты

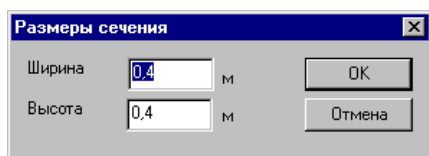


Рис. 13. Диалоговое окно **Размеры площадки**

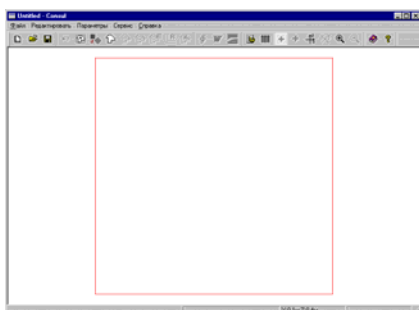


Рис. 14. Отображение габаритов площадки в рабочем поле

## Фундаментная плита

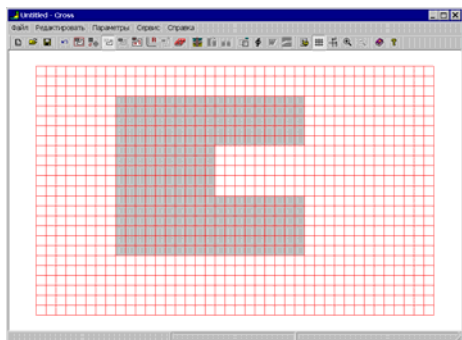


Рис. 15. Отображение фундаментной плиты в рабочем поле



Ввод фундаментной плиты выполняется на координатной сетке, габариты которой ограничены размерами площадки. Задание размеров площадки выполняется в одноименном диалоговом окне (рис. 13) в единицах измерения, указанных на странице **Единицы измерений** диалогового окна **Параметры**.

После выхода из указанного диалогового окна в рабочем поле отображается прямоугольник, ограничивающий габариты площадки (рис. 14).

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. 15).

Положение точек перелома может быть произвольным или привязанным к ближайшему узлу сетки. Настройка вида привязки выполняется на странице **Прочие** диалогового окна **Параметры**. При отсутствии привязки во втором поле строки состояния выводятся текущие координаты курсора. Если активна опция **Привязка к сетке**, то в поле строки состояния выводятся координаты ближайшего к курсору узла сетки.



## Корректировка контура плиты

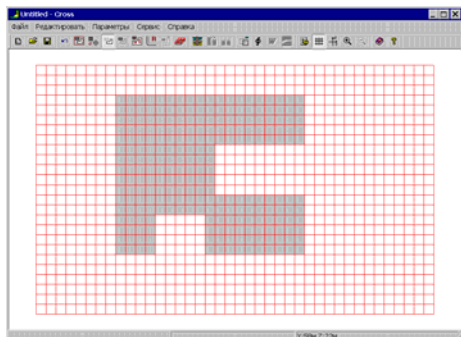


Рис. 16. Плита после корректировки внешнего контура



## Существующее здание



Повторное нажатие на кнопку **Фундаментная плита** в инструментальной панели активизирует режим корректировки внешнего контура плиты. Для корректировки контура 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. 16 показана плита после корректировки внешнего контура.

**При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход проемов за границы внешнего контура.**



Данная операция позволяет ввести контур существующего здания (зданий). Порядок действий в этом случае полностью аналогичен действиям, выполняемым при создании контура фундаментной плиты.

## Проем

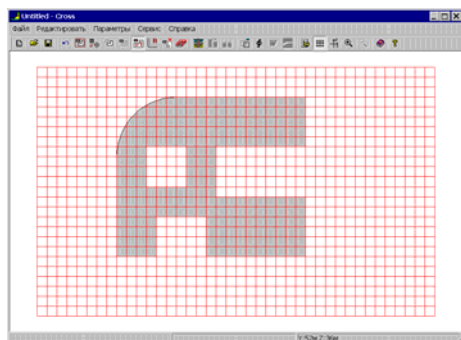


Рис. 17. Пример фундаментной плиты с проемами



В программе предусмотрена возможность ввода проемов фундаментной плиты или существующих зданий в виде замкнутого многоугольника.

Порядок операций при вводе и корректировке контура проема аналогичен вводу и корректировке внешнего контура фундаментной плиты.

На рисунке 17 приведен пример фундаментной плиты с проемами.

**При вводе многоугольных проемов не допускается их пересечение с внешним контуром фундаментной плиты и другими проемами.**

## 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.

## Сгладить угол

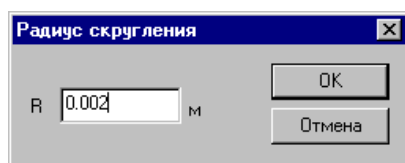


Рис. 18. Диалоговое окно **Радиус скругления**



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 скругления** (рис. 18) задать радиус и нажать кнопку **ОК**. На рисунке 19 показана фундаментная плита со сглаженными углами.

Количество точек (узлов) на дуге окружности задается на странице **Прочие** диалогового окна **Параметры**. Количество узлов на полной окружности (в том числе и на внутренних контурах) — не менее 16.

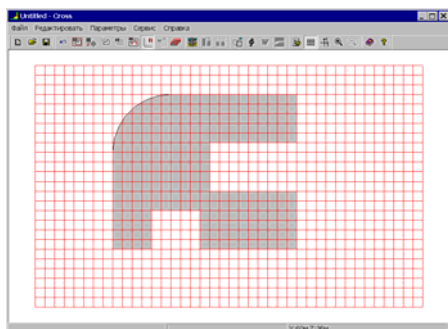


Рис. 19. Пример плиты со скруглением

## Переместить



С помощью этой операции выполняется перемещение группы вершин, выбранных с помощью рамки. Для ее выполнения следует:

- ⇨ активизировать операцию;
- ⇨ захватить прямоугольной (или полигональной) рамкой перемещаемые вершины;
- ⇨ переместить курсор внутрь рамки и после смены вида курсора сдвинуть рамку вместе с захваченными ею вершинами в новое положение.

Новое положение вершин фиксируется нажатием левой кнопки мыши.



**При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход полигональных проемов за границы внешнего контура плиты.**

## Вершины

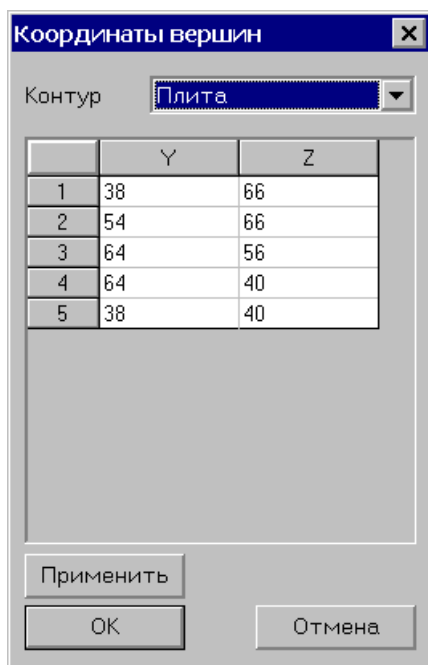


Рис. 20. Диалоговое окно  
Координаты вершин



## Удалить вершины



С помощью этой операции выполняется удаление одной или группы выбранных вершин. Для ее выполнения следует:

- ↪ активизировать операцию;
- ↪ захватить прямоугольной (или полигональной) рамкой удаляемые вершины;

Корректировку положения вершин контура фундаментной плиты и проемов можно выполнить путем изменения их координат с помощью функции **Вершины** меню **Редактировать**. После ее активизации появляется диалоговое окно **Координаты вершин** (рис. 20), которое включает список контуров в порядке их создания и таблицу с координатами вершин выбранного из списка контура (фундаментной плиты, проемов, существующего здания).

Для корректировки положения вершин следует выполнить следующие действия:

- ↪ выбрать из списка контур (в сечении вершины выбранного контура будут пронумерованы);
- ↪ изменить координаты вершины в таблице координат;
- ↪ нажать кнопку **Применить** или **ОК**.

**При перемещении вершин не допускаются самопересечения ребер, образующих внешний контур плиты, и выход проемов за границы внешнего контура плиты.**

## Нагрузка

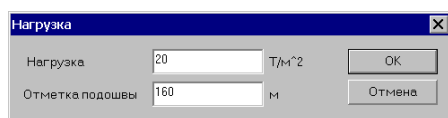


Рис. 21. Диалоговое окно  
Нагрузка

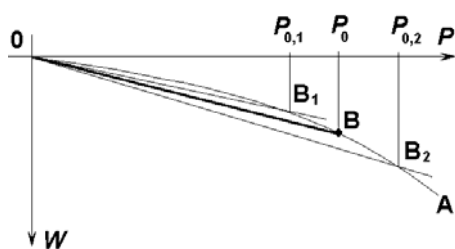


Рис. 22.



С помощью этой операции задаются 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. 21).

Просадки грунтового основания  $W$  (см. рис. 22) зависят от приложенной нагрузки  $P$  нелинейно, поэтому коэффициент постели, вообще говоря, не является величиной постоянной.

В практике проектирования обычно заменяют нелинейную зависимость ОВА линейной ОВ (расчет по “секущему модулю”). Тангенс угла наклона этого линейного графика как раз и характеризует коэффициент постели.

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  $OB$ ).

## Добавить скважину



С помощью этой операции назначаются места расположения скважин 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 маркер с номером этой скважины. Если активна опция привязки к узлам координатной сетки, то скважины будут устанавливаться в узлах, ближайших положению курсора. Изменить (уточнить) координаты скважины можно в режиме задания параметров скважин.

## Удалить скважину



Для удаления скважины следует указать на нее курсором и нажать левую кнопку мыши.

## Параметры скважин

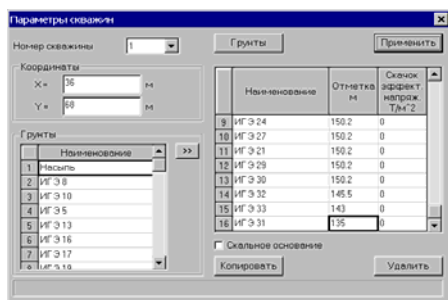


Рис. 23. Диалоговое окно  
Параметры скважин

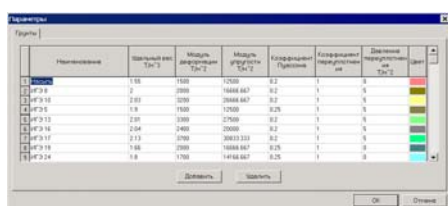


Рис. 24. Диалоговое окно  
Грунты



При выборе этой операции появляется диалоговое окно **Параметры скважин** (рис. 23), в котором для каждой скважины необходимо задать:

- координаты скважины (фактически они заданы при установке скважины, но могут быть откорректированы в этом окне);
- информацию о грунтах;
- отметки уровней грунтов для каждой скважины.

Если ниже слоев грунта находится скальное основание, то следует активизировать соответствующий маркер. При этом вычисление осадок по глубине будет ограничено отметкой последнего слоя грунта. В противном случае программа сама определит глубину сжимаемой толщи грунта.

Заданию параметров скважин должно предшествовать описание характеристик всех грунтов. Для этого следует нажать кнопку **Грунты**, и в появившемся диалоговом окне (рис. 24) ввести все необходимые данные. Перед вводом характеристик каждого грунта необходимо нажать кнопку **Добавить**. При этом в таблице грунтов появится новая строка, в которой задается:

- наименование грунта;
- удельный вес;
- модуль деформации;
- модуль упругости (если этот параметр не задан, то после указания курсором на соответствующую ячейку он будет вычислен автоматически как  $D/0.12$  где  $D$  — модуль деформации);
- коэффициент Пуассона;
- коэффициент переуплотнения;
- давление переуплотнения.

В последнем столбце следует определить цвет (имеется ввиду цвет, которым данный грунт будет изображаться при построении разрезов).

Скачок эффективного напряжения определяется действием архимедовых сил, которые, начиная от уровня грунтовых вод (УГВ) и до водоупорного горизонта «уменьшают» объемный вес грунта на  $1 \text{ т/м}^3$ . На водонапорном горизонте этот эффект исчезает, что и создает скачок эффективного напряжения (см. рис. 25).

Если водонасыщенные грунты расположены *под* слоем водоупорных, то архимедовы силы создают отрицательный скачок эффективного напряжения.

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),  $\Delta p_c$  — давление переуплотнения (связанное с максимальными давлениями, действовавшими на

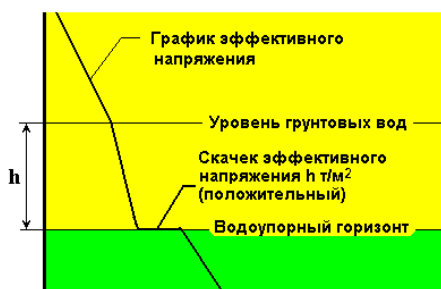


Рис. 25. К определению скачка  
эффективного напряжения


грунт в течение истории его формирования),  $\sigma$  — природное давление. Коэффициент переуплотнения и давление переуплотнения постоянны и могут считаться параметрами грунта.

При отсутствии данных натуральных испытаний о величинах  $R$  и  $\Delta p_c$  рекомендуется использовать значение коэффициента переуплотнения 1.0, а величину давления переуплотнения принимать равной

- 5 т/м<sup>2</sup> - для глинистых грунтов;
- 2.5 т/м<sup>2</sup> - для супеси;
- 0 т/м<sup>2</sup> - для песков.

Если какой-либо из грунтов нужно удалить, следует активировать соответствующую строку с помощью курсора и нажать кнопку **Удалить**.

Чтобы описать последовательность слоев, следует отметить в таблице **Грунты** (рис. 22) строку с характеристиками

грунта первого слоя и нажатием кнопки  перенести ее в таблицу **Слои**, которая характеризует расположение слоев грунта в скважине, и задать параметры слоя. Эти действия повторяются для всех других слоев, при этом грунт одного типа может попадать в несколько разных слоев.

Теперь остается только последовательно выбирать из списка **Номер скважины** номер очередной скважины и задавать для нее список грунтов и отметки уровня каждого слоя грунта 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 получают значения параметров первой скважины и их достаточно только откорректировать. Кроме того, нажатие кнопки **Копировать** приводит к появлению диалогового окна, в котором пользователь может выбрать “скважину-аналог” и скопировать из нее отметки слоев.

## Разрез

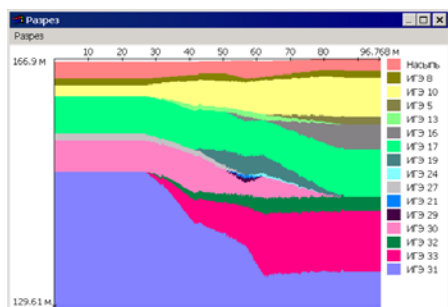


Рис. 26. Окно с изображением разреза

Для контроля заданных параметров скважин можно воспользоваться режимом построения геологических разрезов (рис. 26). Разрез выдается вдоль отрезка прямой, проведенной в любом месте площадки. Для построения разреза следует:

- ☞ установить курсор в точку начала отрезка;
- ☞ нажать одновременно клавишу Ctrl и левую кнопку мыши;
- ☞ не отпуская нажатые кнопки, протянуть мышью во второй узел отрезка.

В появившемся окне будет показан геологический разрез в заданном направлении.

Используя пункт меню Сохранить, пользователь может сохранить изображение в формате метафайла Windows.

### 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:

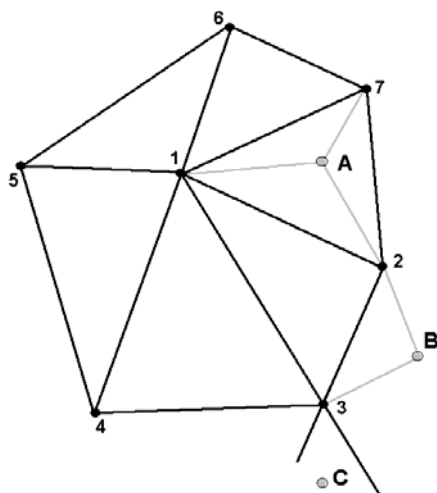


Рис. 27

- A) точка лежит внутри одного из треугольников (пример — точка А на рис. 27);
- 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 В на рис. 27);
- 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 С на рис. 27);

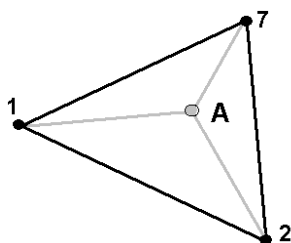


Рис. 28.

В случае А) толщина каждого слоя грунта принимается по линейной интерполяции между вершинами треугольника пропорционально площадям треугольников, противолежащих соответствующим вершинам (рис. 28).

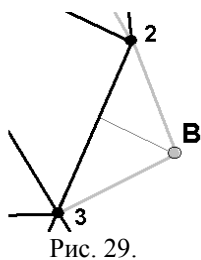


Рис. 29.

В случае В) толщина каждого слоя грунта принимается по линейной интерполяции длин отрезков, на которые разбивается сторона перпендикуляром, опущенным из точки (рис. 29).

В случае С) считается, что структура грунтового массива в данной точке совпадает со структурой в ближайшей скважине (на рис. 27 — скважина 3).



## Измерение расстояний

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 измерений** окна **Параметры**). Координаты текущего положения курсора выводятся в средней части строки состояния.

Отметим, что для выполнения операции необходимо отключить все режимы редактирования.

## Начало координат

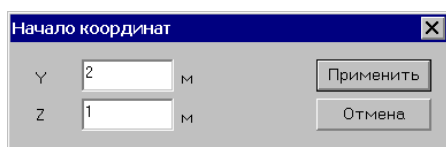


Рис. 30. Диалоговое окно **Начало координат**



Операция вызывается из раздела меню **Редактировать** и позволяет выполнить перенос начала координат в точку с заданными координатами (рис. 30).

Вращение сетки происходит вокруг начала координат, поэтому сдвиг начала координат может быть полезен при задании контуров.

### Шаг сетки

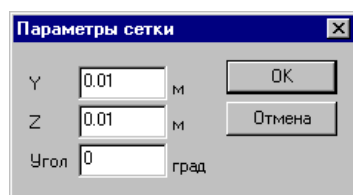


Рис. 31. Диалоговое окно **Параметры сетки**

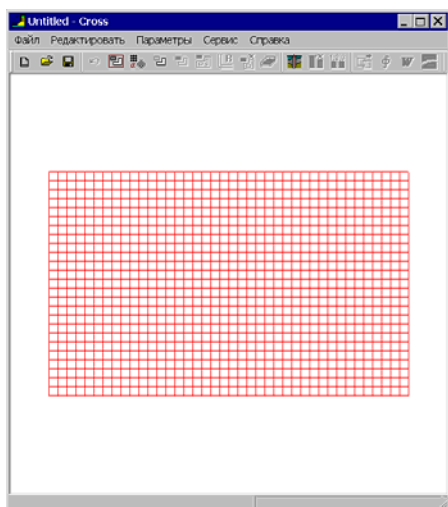


Рис. 32. Отображение сетки в рабочем поле

### Сетка



Ввод параметров координатной сетки выполняется в диалоговом окне **Параметры сетки** (рис. 31), которое появляется после инициализации соответствующей операции. В полях ввода этого окна задаются шаг сетки по горизонтали (вдоль оси **Y**) и по вертикали (вдоль оси **Z**), 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 параметров (рис. 32). Отображение сетки включается/выключается кнопкой



— **Сетка** на инструментальной панели.



Включает или выключает в рабочем поле отображение размерной сетки. Шаг сетки назначается одноименной операцией в разделе меню **Параметры** или нажатием соответствующей кнопки на инструментальной панели.

### Поля для зданий

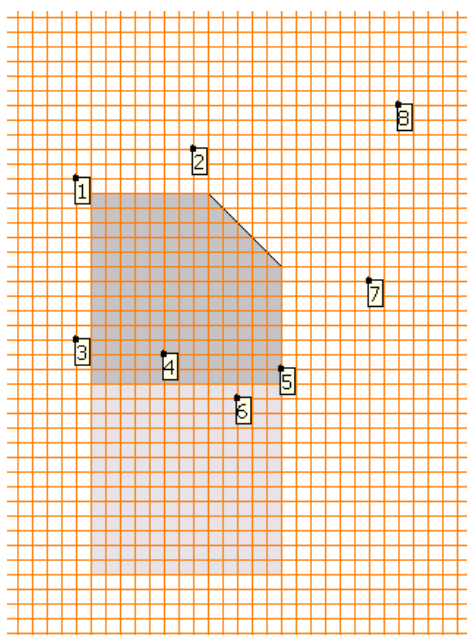


Рис. 33. Модель здания с  
неравномерной нагрузкой

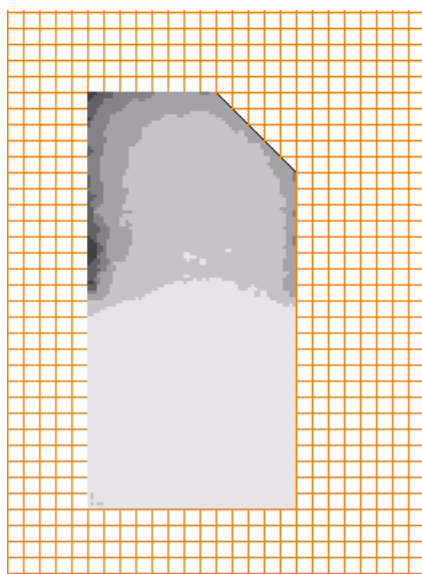




Рис. 34. Поле коэффициентов постели  
для неравномерно нагруженной  
фундаментной плиты

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. В программе предусмотрена возможность получить поля для существующих зданий, если выбрана соответствующая опция в разделе меню **Параметры**.

Опция становится полезной в тех случаях, когда необходимо задать различные нагрузки на грунт в рамках одного пятна здания (смоделировать ситуацию неравномерной нагрузки). Например, если проектируемое сооружение имеет две части (одна из них с малым числом этажей, а вторая — высотная часть), то модель может быть создана следующим образом. В качестве фундаментной плиты задается низкорослая часть (соответственно с малой величиной нагрузки), а к ней вплотную примыкает якобы существующее здание с пятном, совпадающим с высотной частью и большей нагрузкой на грунт (рис. 33). Если выбрана опция **Поля для зданий**, то будет получена полная картина распределения коэффициентов постели в здании с неравномерной нагрузкой (рис. 34).

### Увеличение и уменьшение изображения



Изображение площадки может быть увеличено. Каждое нажатие кнопки  — **Увеличить изображение** 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 изображение**, каждое нажатие которой уменьшает изображение на 10% вплоть до номинального размера изображения в окне.

### Вызов справки



Нажатие кнопки **Справка** активизирует стандартную функцию Windows для получения справки из базы, созданной разработчиками программы.

### О программе



После нажатия этой кнопки вызывается информационное окно **О программе** (рис. 35), в котором приводится информация о версии и разработчике программы.

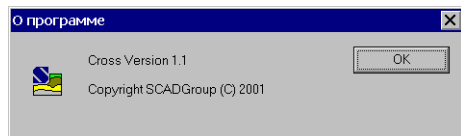


Рис. 35. Информационное окно  
**О программе**

## Приложения

### 1. 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 послыном 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  $\delta$ -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 несколькими иными методами. У него плита задается не уравнением изгиба, а как упругая полоса конечной толщины. Используется стандартное представление решения плоской задачи теории упругости Колосова-Мухелишвили. 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 Б.П.Павлова и Я.А.Мачерета [3], 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

## Приложения

---

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 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 конечноразностного) расчета плит. Для МКЭ наиболее удобно использовать винклеровское основание [7], но это не означает, что в рамках конечноэлементного подхода невозможно применять другие модели. Напротив, при помощи итеративного алгоритма Шварца можно рассчитывать плиту на любом, в том числе нелинейном основании. Исходная задача формулируется как задача решения системы уравнений

$$\begin{aligned} D\Delta^2 w &= p - q; \\ L(q) &= w. \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$D\Delta^2 w + kw = p \quad (2)$$

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 упруго-пластических (больших) и упругих (малых) деформаций.

На этой идее основаны предложения по расчету осадок с использованием простейшей упруго-пластической 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 литературе 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  $\sigma_z$  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

$$w = \int_{z_f}^{z_d} \beta \frac{\Delta\sigma}{E} dz \quad (3)$$

где  $z$  — вертикальная координата, возрастающая вниз;  $z_f$  — координата подошвы;  $z_d = z_f + H$  — нижняя граница интегрирования (послойного суммирования);  $H$  — глубина сжимаемой толщи;  $\beta$  — коэффициент, учитывающий степень боковой стесненности вертикального сжатия грунта;  $\Delta\sigma$  — приращение вертикального нормального напряжения от действия нагрузки на основание;  $E$  — модуль деформации. Три последних 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  $\sigma_{zg}$ , (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

## Приложения

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) при глубине, 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

$$\beta = \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{1-\nu}, \quad (4)$$

где  $\nu$  - 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  $\beta$  установить трудно даже для однородного упругого основания. Мы предлагаем рассчитывать этот коэффициент по приближенной формуле

$$\beta = \beta_c + \sqrt{1-\alpha^2} (\beta_u - \beta_c), \quad (5)$$

где  $\beta_c$  - «компрессионный» коэффициент, определяемый по формуле (4);  $\beta_u$  — коэффициент на бесконечности;  $\alpha$  — коэффициент рассеяния вертикального напряжения от равномерной нагрузки, приложенной к поверхности основания в пределах подошвы фундамента (см. приложение 2 СНиП 2.02.01-83).

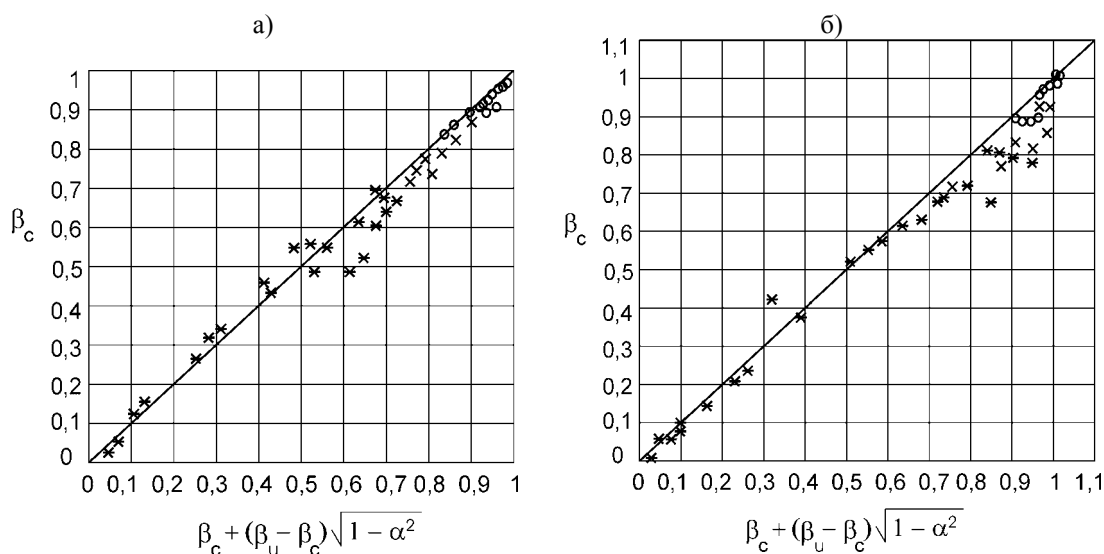
Эта формула проверялась сопоставлением с решениями теории упругости для жесткого плоского штампа, сцепленного с однородным УПП. На рис.1а дается сравнение с решением В.М.Абрамова [4] для случая плоской задачи. В этом случае на бесконечности имеет место плоское одноосное сжатие и  $\beta_u = 1 - \nu^2$ .

На рис. 1б 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  $\beta$  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  
 о -  $\nu=0,2$ ; х -  $\nu=0,35$ ; \* -  $\nu=0,5$ .

Один из наиболее выраженных случаев неоднородности — слой, сцепленный с абсолютно жестким подстилайем. В этом случае у подошвы слоя по оси сосредоточенной нагрузки имеет место концентрация напряжений, т.е. увеличение  $\sigma_z$  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 подстилайем), 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,  $\beta$  - по формуле (4) с указанными выше для случая осесимметричной задачи значениями параметров,  $H$  принималась равной толщине слоя. Видно, что несмотря на концентрацию  $\sigma_z$ , 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 при помощи 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.

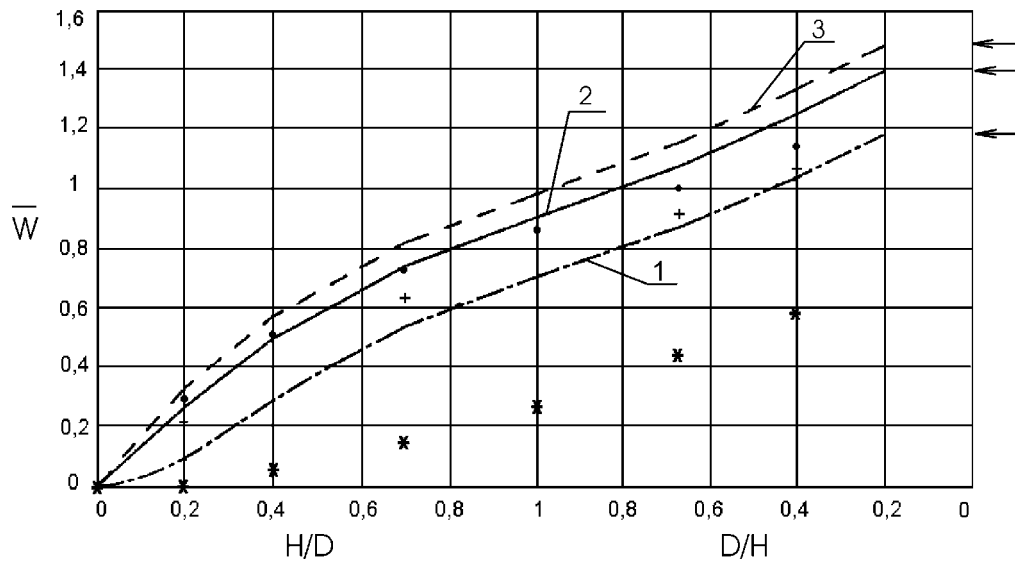


Рис. 2. Зависимость безразмерной осадки  $\bar{W} = wE/pR$  круглого жесткого идеально шероховатого штампа от толщины упругого слоя. Точки - расчет МКЭ; линии - расчет по предлагаемому методу; стрелками показаны точные решения для полупространства  
 • —  $\nu = 0,2$  (1); + —  $\nu = 0,35$  (2); \* —  $\nu = 0,5$  (3)

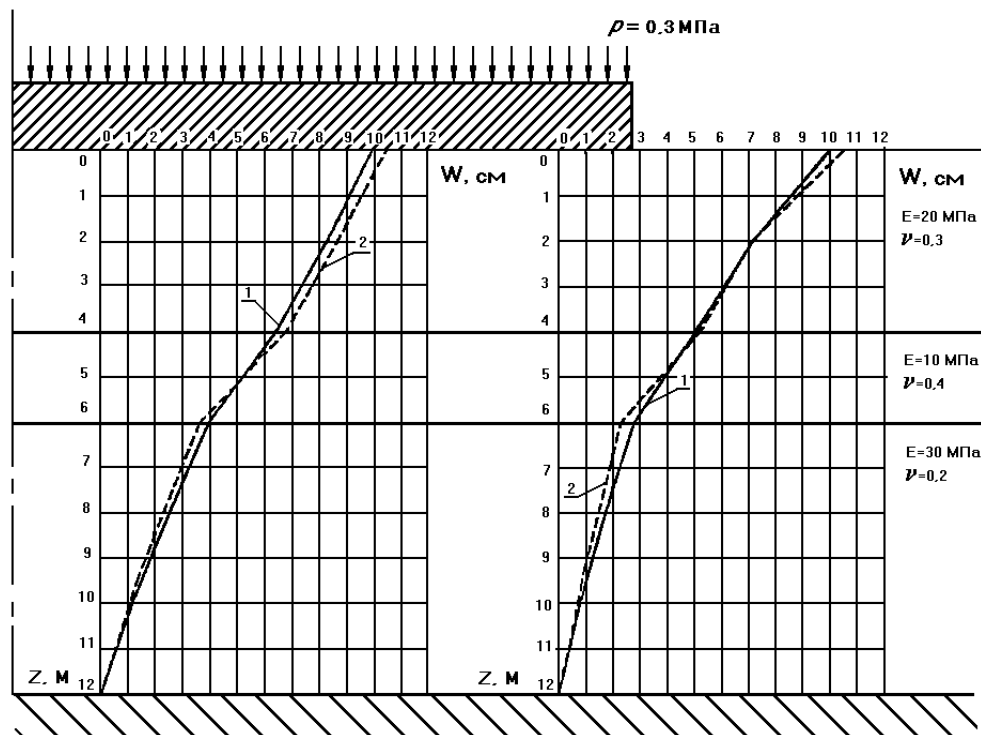


Рис. 3. Сопоставление осадок неоднородного основания по решению МКЭ (1) и предлагаемому методу (2)

Следующий пример — слоистое основание, где модуль деформации изменяется с глубиной немонотонно (уменьшение модуля с глубиной приводит к наибольшим отличиям истинного распределения

$\sigma_z$  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:

$$\frac{\Delta\sigma}{E} = \begin{cases} \frac{\Delta\sigma}{E} = \mu \frac{\Delta\sigma}{E_{ep}} & \text{при } \sigma_z \leq p_c \\ \frac{\sigma_z - p_c}{E_{ep}} + \frac{p_c - \sigma_0}{E_e} = \frac{\sigma_z - p_c + \mu(p_c - \sigma_0)}{E_{ep}} & \text{при } \sigma_z > p_c \end{cases} \quad (6)$$

где  $\sigma_z = \sigma_0 + \Delta\sigma$  — действующее после приложения нагрузки вертикальное напряжение в массиве;  $\sigma_0$  — 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 при помощи 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  $\beta$

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

$$p_c = \text{OCR} \sigma_{zg} \quad (7)$$

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

$$p_c = R \sigma_{zg} + \Delta p_c \quad (8)$$

где  $R$  — некоторый коэффициент, связанный с возрастом депозита,  $\Delta p_c$  — 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.

## Приложения

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.

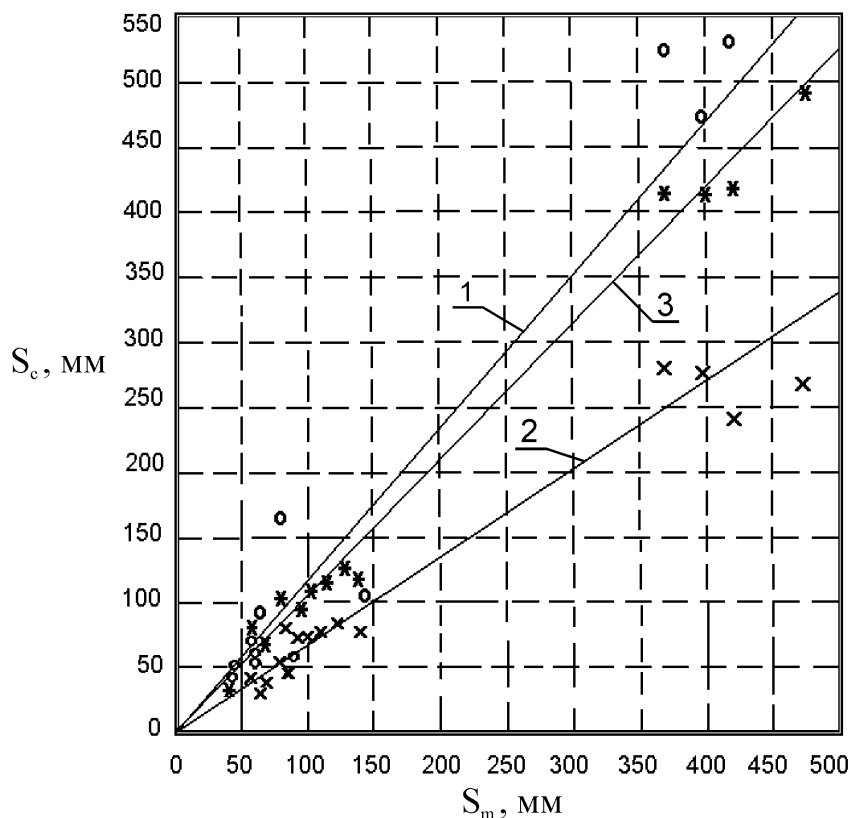


Рис.4. Сопоставление измеренных осадок  $S_m$  с расчетными  $S_c$  по методам о - линейно-деформируемого полупространства (1); x - линейно-деформируемого слоя (2); \* - послойного суммирования с учетом структурной прочности (3)

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  $\bar{S} = 1.162$ , ее дисперсия  $d = 0,345$ , а вариация

$V = d/\bar{S} = 0,297$ . Для второго нормативного метода (ЛС)  $\bar{S} = 0,679$ ,  $d = 0,096$ ,  $V = 0,141$ . Наконец, для предлагаемого метода (билинейная модель)  $\bar{S} = 1,052$ ,  $d = 0,131$ ,  $V = 0,125$ .

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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. трудов НИИ Фундаментостроя.- 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 ВТ., Дохнянский МЛ. Осадки круглых и кольцевых фундаментов: прогноз и сопоставление с данными натурных наблюдений.// Тр. II Балт. конф. по мех гр. и фундаментостроению, Т.2,-Таллин, 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 // Гидротехническое строительство - 1991 - №10.
13. Копейкин В.С., Сидорчук В.Ф. Расчет осадок фундаментов с учетом влияния НДС на характеристики деформируемости грунта. Основания, фундаменты в механика грунтов. - 1993.- №4.- С.8-13.

## **Приложения**

---

14. Соловьев Л-Ю., Соловьев Ю.И. Распределение напряжений при действии на упругое полупространство сцепленного с ним кругового штампа //Изв. вузов. Строительство, 1995. - №5. - С. 22-26.
15. Giroud J. P. Tables pour le calcul des fondations. t. 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, V.3 - Moscow, 1973. - Pp.111-159.

## 2. Сервисные функции

### Вычисление по формулам

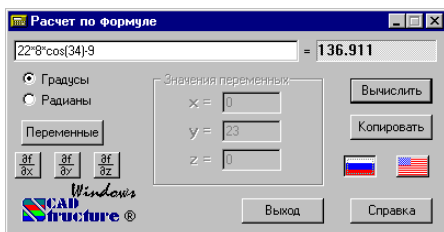


Рис. 5. Окно вычислителя

Поскольку при работе с программой часто возникает необходимость выполнить некоторые дополнительные расчеты, в разделе меню **Сервис** предусматривается возможность вызова как стандартного калькулятора среды Windows (если он установлен при установке системы), так и специального вычислителя (рис. 5), позволяющего выполнять расчеты по формулам.

Вычислитель предназначен для проведения вычислений по формулам, которые задаются пользователем в окне ввода.

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:

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| <b>floor</b> | — | наибольшее целое число, не превышающее заданное; |
| <b>tan</b>   | — | тангенс;   |
| <b>sin</b>   | — | синус;   |
| <b>cos</b>   | — | косинус;   |
| <b>asin</b>  | — | арксинус;  |
| <b>acos</b>  | — | арккосинус;                                      |
| <b>atan</b>  | — | арктангенс;                                      |
| <b>exp</b>   | — | экспонента;                                      |
| <b>ceil</b>  | — | наименьшее целое число, превышающее заданное;    |
| <b>tanh</b>  | — | тангенс гиперболический;                         |
| <b>sinh</b>  | — | синус гиперболический;                           |
| <b>cosh</b>  | — | косинус гиперболический;                         |
| <b>log</b>   | — | натуральный логарифм;                            |
| <b>log10</b> | — | десятичный логарифм;                             |
| <b>abs</b>   | — | абсолютное значение;                             |
| <b>sqrt</b>  | — | 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:

$$1.2+\sin(0.43)+6.7*\text{sqrt}(6.8)-0.003^{(1/5)}.$$

Если активизировать кнопку **Переменные**, то появляется дополнительная возможность использовать в формуле три независимые переменные **x, y, z**. При этом сами значения переменных задаются в соответствующих окнах ввода. 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

$$1.2+\sin(x)+6.7*\text{sqrt}(6.8)-y^{(1/5)}.$$

Для проведения вычислений следует нажать кнопку **Вычислить**. Кнопка **Копировать** позволяет поместить результат в буфер обмена.

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.



## Преобразование единиц измерений

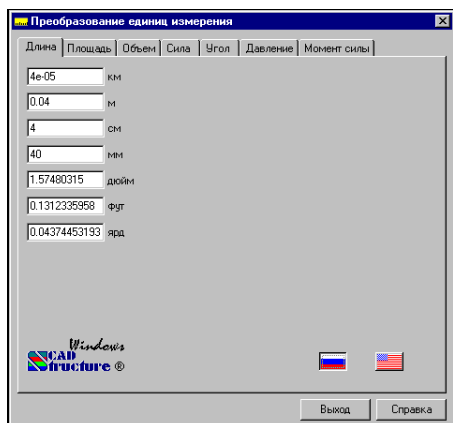


Рис. 6. Окно программы преобразования единиц измерения

Программа предназначена для преобразования данных, заданных в различных единицах измерений (рис. 6). Для выполнения операции необходимо выбрать страницу с соответствующими мерами (Длина, Площадь, и т.д.), ввести число в какое либо из полей ввода и нажать на клавишу **Enter**. В результате будут получены значения этой величины во всех остальных единицах измерений.