

*SCAD Soft*



## **Откос**

**Анализ устойчивости откосов и склонов**

**Версия 1.5**

**Руководство  
пользователя**

УДК 539.3+624.014

Авторский коллектив

Перельмутер М.А., Федоровский В.Г

**«Откос». Анализ устойчивости откосов и склонов. РУКОВОДСТВО  
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ. Версия 1.5.**

В руководстве приводятся описание функциональных возможностей программы **Откос**, технологии ее использования и рекомендации по применению в задачах проектирования.

Программа предназначена для специалистов-проектировщиков, обладающих минимальными навыками работы с компьютером.

## Содержание

Содержание.....	3
Предварительные сведения.....	3
Управление программой.....	4
Меню.....	4
Настройки.....	5
Работа с таблицами.....	6
Подготовка исходных данных.....	7
Страница Общие данные.....	7
Страница Грунты.....	8
Страница Скважины.....	9
Страница Нагрузки.....	11
Расчет и отображение результатов расчета.....	12
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	13
Калькулятор для расчета по формулам.....	13
Калькулятор для преобразования единиц измерения.....	14
Литература.....	15

## Предварительные сведения

Расчет устойчивости откосов (склонов) — одна из важнейших инженерно-геологических задач. Для ее решения разработаны многочисленные методы в рамках теории предельного равновесия [1]. 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.

Соппротивление 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, предложенная в работах [2],[3] и основанная на методе переменной степени мобилизации сопротивления сдвигу (МПСМ).

## Управление программой

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**<sup>®</sup>. Программы используют известную технику работы с многостраничными окнами (рис. 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**.

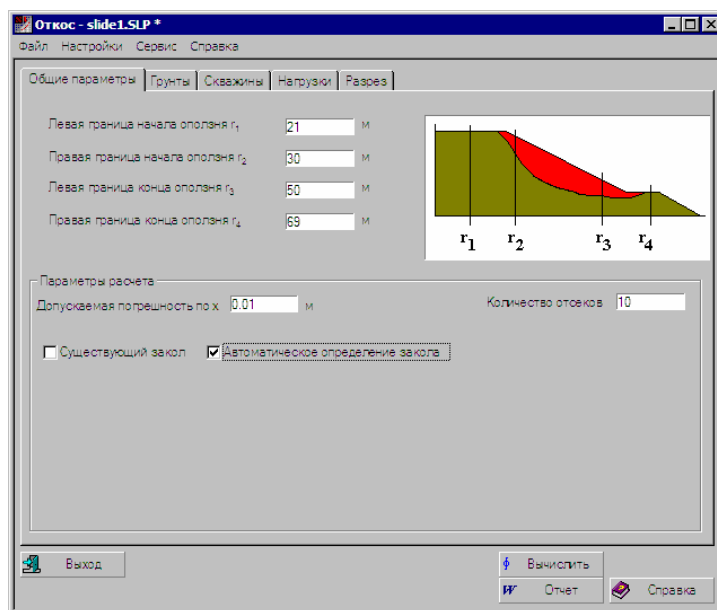


Рис. 1. Диалоговое окно программы **Откос** страница **Общие параметры**

### Меню

Настройка программы и вызов сервисных операций может быть выполнено через меню. Меню включает четыре раздела: **Файл**, **Настройки**, **Сервис**, **Справка**.

Раздел **Файл** включает следующие пункты меню:

**Новый** — переход к новому расчету. При этом обнуляются все рабочие поля на всех страницах программы и если предыдущие данные не сохранялись, то появляется окно сообщений с предложением их сохранить.

**Открыть** — загрузка файла с исходными данными.

**Сохранить** — сохранить исходные данные в виде файла.

**Сохранить как...** — сохранить исходные данные с другим именем файла.

**Выход** — завершение работы программы.

Из раздела **Настройки** вызывается диалоговое окно **Настройки приложения**, в котором выполняется назначение параметров управления программой.

В разделе **Сервис** предусмотрен вызов стандартного калькулятора среды Windows, формульного калькулятора и калькулятора для преобразования единиц измерений.

Из раздела **Справка** можно вызвать справочную информацию по управлению программой **ОТКОС**, правила пользования справочной средой системы Windows, а также сведения о программе (номер версии и дата последней модификации).

Описание сервисных и справочных операций приводится в приложении.

## Настройки

Окно **Настройки приложения** (рис. 2) вызывается из меню **Настройки** и содержит три страницы — **Единицы измерения**, **Отчет и языки**, **Визуализация**.

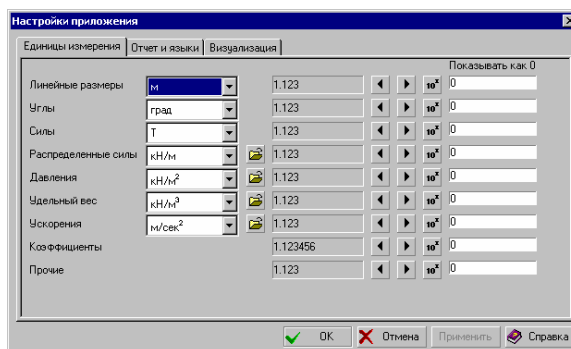




Рис. 2. Страница **Единицы измерения** диалогового окна **Настройки приложения**

На странице **Единицы измерения** выполняется назначение единиц, которые будут использоваться при вводе исходных данных и анализе результатов расчета. Единицы измерения можно изменить на любом шаге работы с программой. Для назначения простых единиц измерения, например линейных размеров или сил, используются выпадающие списки. В тех случаях, когда единицы составные, в выпадающих списках отображаются текущие единицы, а назначение выполняется в диалоговых окнах **Настройки единиц измерения** (рис. 3).

Окна вызываются нажатием кнопки , расположенной справа от выпадающего списка. Для задания единиц следует выбрать из списка наименование нужных единиц измерения и выйти из окна нажатием кнопки **ОК**.

Окно **Отчет и языки** (рис. 4) используется для назначения языка интерфейса пользователя, формы представления отчета, формата отчетного документа и т.п. и включает следующие элементы настройки:

 **Просмотр/редактирование** — автоматический вызов программы просмотра отчета, ассоциированной с форматом с расширением RTF;



**Печать** — печать отчета без его отображения на экране;



**Тип отчета** — в выпадающем списке предлагается выбрать формат файла отчетного документа. Предусмотрено формирование RTF-файла в двух форматах — Word 7 (Word Pad) или Word 97 и выше, DOC-файла, а также файлов в форматах HTML и PDF. Для просмотра/печати отчетов в формате PDF необходимо установить программу типа Adobe Acrobat Reader (программа является бесплатной и может быть загружена с сайта <http://www.adobe.com>);

группы **Бумага**, **Отступы** и **Ориентация** используются для настройки формата отчета; в группе **Колонтитулы** указывается ссылка на файл в формате RTF, в котором записаны колонтитулы к отчету. Этот файл может быть подготовлен пользователем.

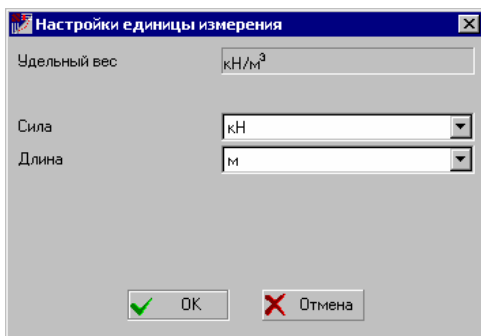


Рис. 3. Диалоговое окно  
**Настройки единицы измерения**

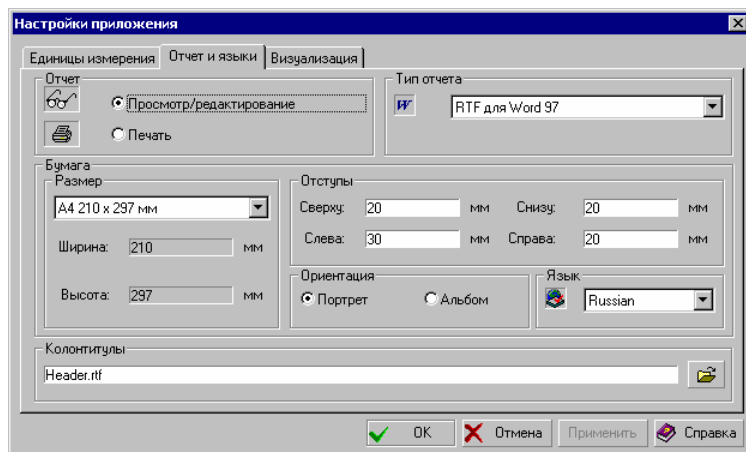


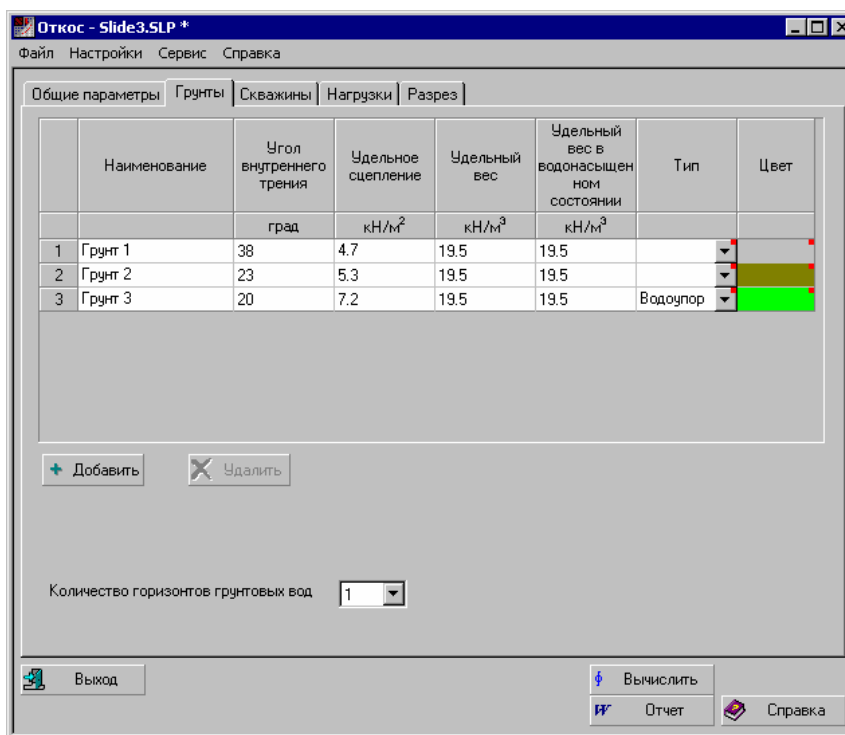
Рис. 4. Страница **Отчет и языки** диалогового окна  
**Настройки приложения**

На странице **Визуализация** выполняется назначение шрифта текстовых сообщений, а также выбор цвета линии при отображении уровня грунтовых вод на экране и в отчете. Двойной щелчок левой кнопкой мыши на строке с отображением текущего шрифта приводит к появлению стандартного диалогового окна **Шрифт (Font)**, в котором и выполняются необходимые установки.

### **Работа с таблицами**

В большинстве случаев исходные данные в программе задаются в табличном виде (рис. 5). 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.



Наименование	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Удельный вес в водонасыщенном состоянии	Тип	Цвет
	град	кН/м <sup>2</sup>	кН/м <sup>3</sup>	кН/м <sup>3</sup>		
1 Грунт 1	38	4.7	19.5	19.5		
2 Грунт 2	23	5.3	19.5	19.5		
3 Грунт 3	20	7.2	19.5	19.5	Водоупор	

Рис. 5. Пример таблицы с характеристиками грунтов

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**, после чего содержимое первой строки будет скопировано в **Clipboard** (буфер обмена);
- ↪ отметить вторую (новую) строку таблицы и одновременно нажать кнопки клавиатуры **Shift+Insert**, 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.

## Подготовка исходных данных

### Страница *Общие данные*

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 6). Независимо от направления склона должны соблюдаться следующие правила задания значений  $r$ :  $r_4 > r_1$ ,  $r_2 \geq r_1$ ,  $r_4 \geq r_3$ . Направление склона определяется характеристиками скважин (задаются на странице **Скважины**).



Рис. 6.

Кроме размеров оползневого участка на странице **Общие данные** (рис. 1) задаются параметры расчета, которые включают следующие данные:

**Допускаемая погрешность по  $x$**  — точность определения отметок поверхности скольжения;

**Наличие закола** — маркер, указывающий на наличие закола у границы начала оползня. Если этот маркер активен, то следует активизировать маркер, указывающий, где находится граница начала оползня (**Закол слева** — склон слева направо, **Закол справа** — склон справа налево). Глубина закола задается в поле ввода **Величина 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 **Наличие закола**) вертикальной трещины в верхней части линии скольжения.

### Страница Грунты

На этой странице (рис. 7) 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 ( $\text{т/м}^2$ );
- удельный вес сухого грунта ( $\text{т/м}^3$ );
- удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии ( $\text{т/м}^3$ ).

Кроме того, для водоупорных грунтов в графе **Тип** из списка выбирается соответствующий признак. 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**.



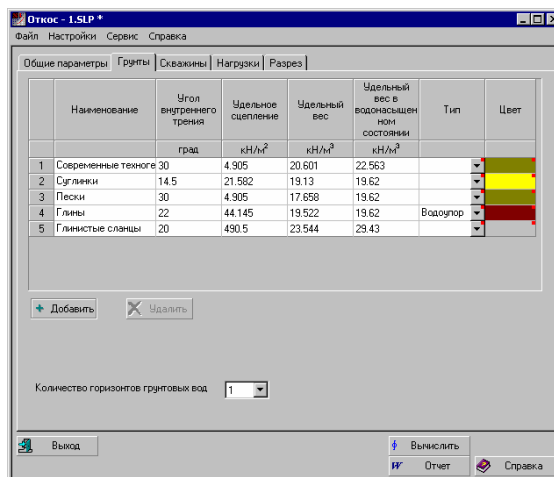


Рис. 7. Страница Грунты

## Страница Скважины

Геологический разрез исследуемого склона задается путем описания скважин на одноименной странице (рис. 8). 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.

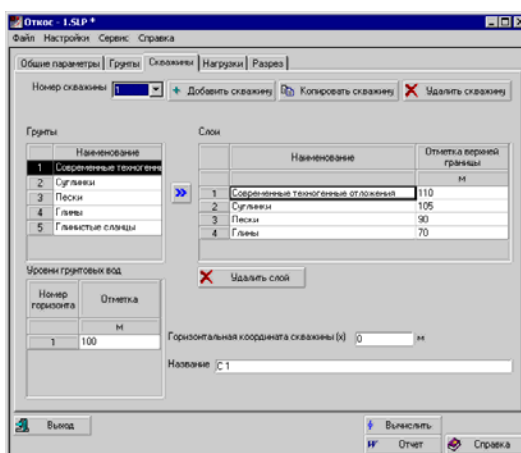


Рис.8. Страница Скважины

- 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**);

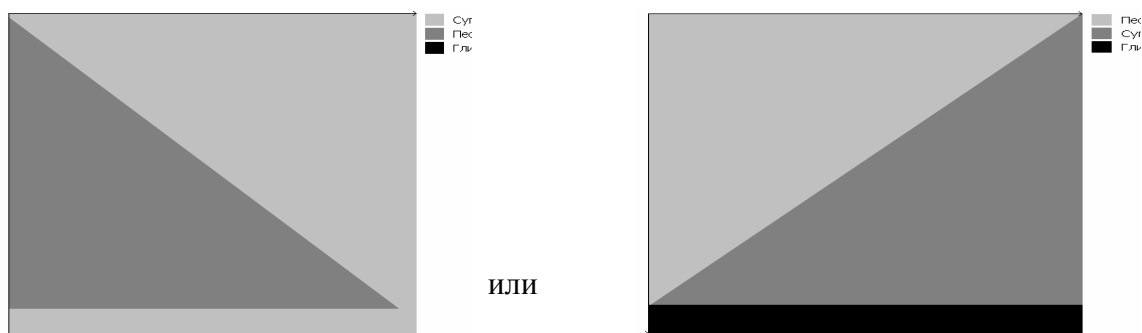
- ↩ вернуться к первой позиции списка действий и повторить все описанные действия для каждой следующей скважины.

Порядок описания скважин не имеет значения, т.к. 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

## Страница Нагрузки

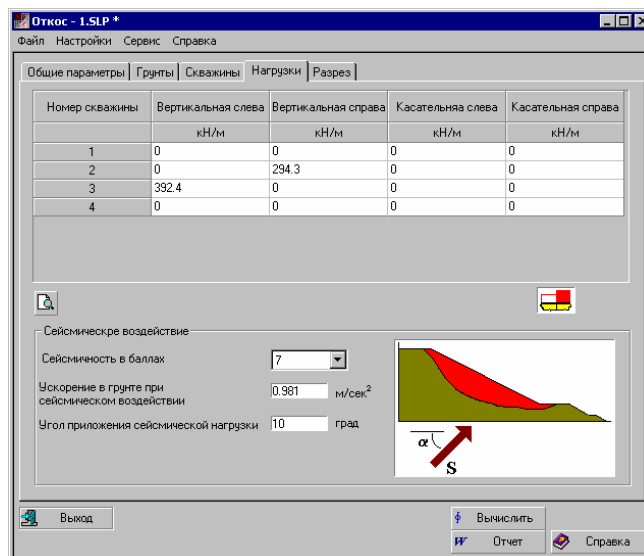


Рис. 9. Страница Нагрузки

На этой странице (рис. 9) задаются нагрузки (напоры), действующие на определенный участок склона. Нагрузки аппроксимируются кусочно-линейными функциями координаты  $x$ , и для удобства описания привязываются к скважинам. Рассматриваются распределенные нагрузки, направленные вертикально и/или по касательной к склону 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

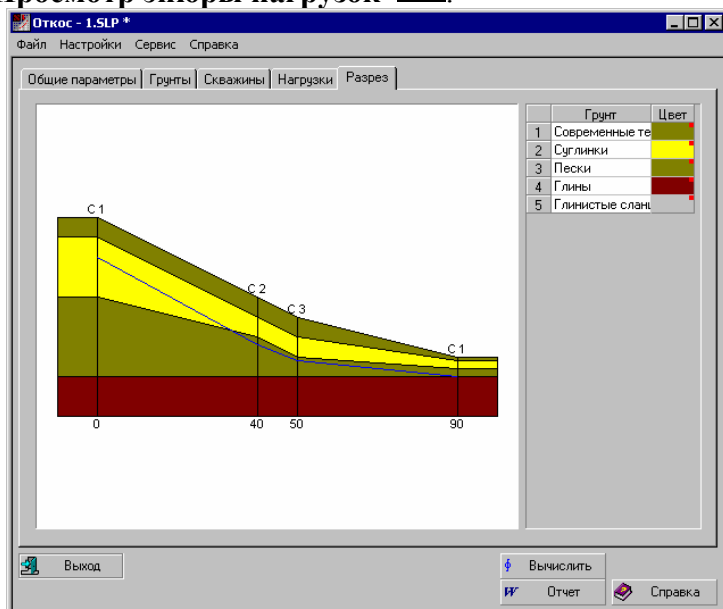


Рис. 10. Страница Разрез

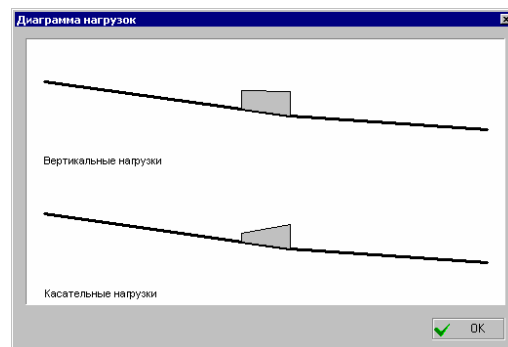


Рис.11. Окно Диаграмма нагрузок

Например, трапециевидная нагрузка между скважинами C2 (30 т/м) и C3 (40 т/м), заданная в таблице, показанной на рисунке 10, и представленная в окне предварительного просмотра **Диаграмма нагрузок** (рис. 11), описана следующим образом:

в графе *Вертикальная слева* скважины C2 задан ноль, это означает, что левее скважины C2 нагрузка отсутствует;

в графе *Вертикальная справа* скважины С2 задано значение 30 т/м, т.е. правее скважины С2 есть нагрузка, начальное значение которой 30 т/м;

в графе *Вертикальная слева* скважины С3 задано значение 40 т/м, это означает, что конечное значение нагрузки на участке С2-С3 будет 40 т/м;

в графе *Вертикальная справа* скважины С3 задано значение ноль, это означает, что правее скважины С3 нагрузка отсутствует.

Аналогично задана равномерно распределенная (12 т/м) касательная нагрузка между этими же скважинами.

При задании нагрузок следует придерживаться правила знаков приведенного на рисунке 12.

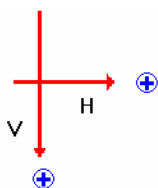


Рис. 12. Правило знаков при задании нагрузок на склон

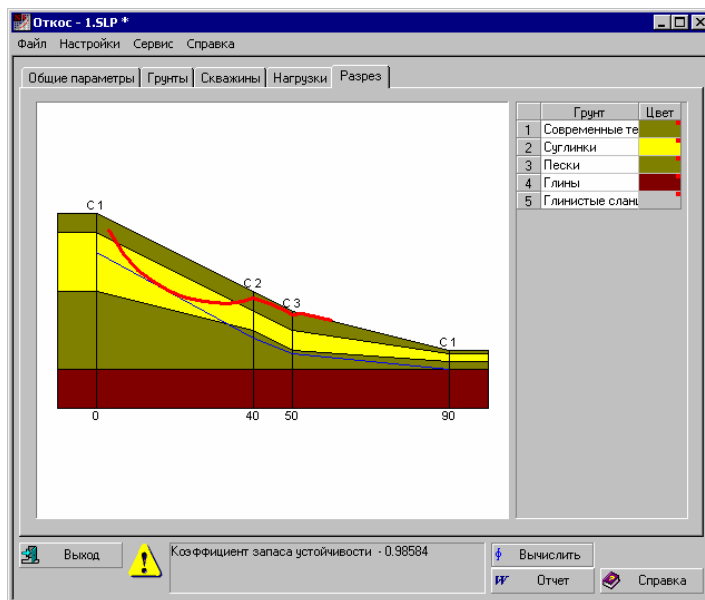


Рис. 13. Страница **Разрез** с отображением поверхности скольжения

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 равными 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 удельного веса на ускорение, которые учитываются в расчете.


### **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. 13). По результатам расчета может быть сформирован отчет.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Калькулятор для расчета по формулам

Калькулятор для расчета по формулам может быть вызван из программной группы

SCAD Office иконкой . В разделе меню **Сервис** предусматривается возможность вызова как стандартного калькулятора среды MS Windows (если он установлен в системе), так и специального вычислителя (рис. 14), позволяющего выполнять расчеты по формулам.

Вычислитель предназначен для проведения вычислений по формулам, которые задаются 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:

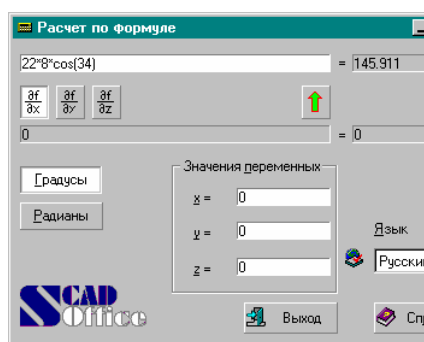


Рис. 14. Окно вычислителя

**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;

**log** — натуральный логарифм;

**log10** — десятичный логарифм;

**abs** — абсолютное значение;

**sqrt** — корень квадратный.

В зависимости от состояния переключателя **Градусы/Радиианы** 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 активизацией одного из маркеров  $\frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial z}$  получить символическое выражение для соответствующей частной производной.

Если в строке ввода (верхней) задана функция от переменных  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , то в нижней строке появляется символическое выражение для частной производной по одной из этих переменных в зависимости от того, какой из маркеров ( $\frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial z}$ ) активен.

### Калькулятор для преобразования единиц измерения

Калькулятор вызывается как из программной группы **SCAD Office** — иконка , так и из меню **Сервис**. Программа предназначена для преобразования данных, заданных в различных единицах измерений (рис. 15). Для выполнения операции необходимо выбрать страницу с соответствующими мерами (**Длина**, **Площадь** и т.д.).

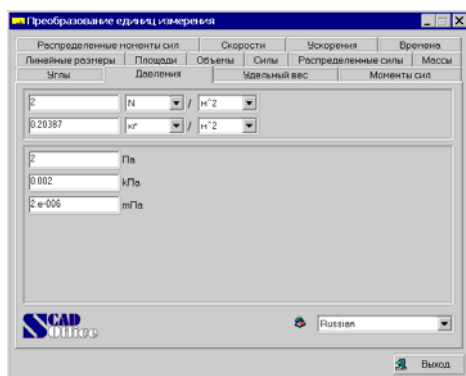


Рис. 15. **Окно Преобразование единиц измерения**

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.

## Литература

1. Я.Х. Хуан. *Устойчивость земляных откосов*. М.: Стройиздат, 1988.
2. В.Г. Федоровский, С.В. Курилло. *Метод расчета устойчивости откосов и склонов* // *Геоэкология*, 1997, №6. — С. 95-106.
3. В.Г. Федоровский, С.В. Курилло. *Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых массивов*, *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 1998, № 4-5, 18-22.