

Руководство пользователя



GeoStab 6.0.2

Расчет устойчивости склонов и
откосов

Дата редакции: 18.12.2018

ООО "ИнжПроектСтрой" оставляет за собой право на внесение изменений в данном документе без предварительного уведомления.

Никакая часть данного документа не может быть воспроизведена или передана в любой форме и любыми способами в каких-либо целях без письменного соглашения ООО "ИнжПроектСтрой"

© 2007 - 2018 ООО "ИнжПроектСтрой".
С сохранением всех прав

Содержание

1 Введение	6
2 Теория	8
2.1 Общие положения	8
2.2 Гипотезы	9
2.3 Обозначения	11
2.4 Методы расчета	13
2.4.1 Метод Феллениуса	13
2.4.1.1 Общая формула метода	14
2.4.1.2 Учет только веса	15
2.4.1.3 Учет произвольных активных сил	15
2.4.1.4 Учет анкеров и нагелей	15
2.4.2 Метод касательных сил	16
2.4.2.1 Общая формула метода	17
2.4.2.2 Учет только веса	17
2.4.2.3 Учет произвольных активных сил	18
2.4.2.4 Учет анкеров и нагелей	18
2.4.3 Метод Бишопа. (Simplified Bishop method)	18
2.4.3.1 Общая формула метода	19
2.4.3.2 Учет только веса	20
2.4.3.3 Учет произвольных активных сил	21
2.4.3.4 Учет анкеров и нагелей	21
2.4.4 Метод Янбу. (Simplified Janby method)	21
2.4.4.1 Общая формула метода	23
2.4.4.2 Учет только веса	23
2.4.4.3 Учет произвольных активных сил	23
2.4.4.4 Учет анкеров и нагелей	23
2.4.5 Метод Моргенштерна-Прайса	24
2.4.6 Метод Спенсера	26
2.4.7 Метод Шахунянца	27
2.4.7.1 Особенности метода	28
2.5 Учет действия грунтовых вод	28
2.6 Учет сейсмических воздействий	29
2.7 Учет влияния нагелей и анкеров	30
2.8 Учет влияния геосинтетических армирующих элементов	31
2.9 Учет влияния ограждений	32
2.10 Список литературы	34
3 Обзор программы	35
3.1 Основное меню	35
3.1.1 Настройки	36
3.2 Панель инструментов	38
3.3 Лента	38
3.3.1 Исходные данные	39
3.3.1.1 Геометрия	39
3.3.1.2 Грунты	40

3.3.1.3	Вода	40
3.3.1.4	Сосредоточенные силы	41
3.3.1.5	Распределённые нагрузки	41
3.3.1.6	Препятствия	42
3.3.1.7	Ограждения	42
3.3.1.8	Анкеры	43
3.3.1.9	Нагели	43
3.3.1.10	Геосинтетика	44
3.3.2	Анализ.....	44
3.3.2.1	Задача	44
3.3.2.2	Тип призмы	45
3.3.2.3	Параметры расчёта	45
3.3.2.4	Круглоцилиндрическая призма	46
3.3.2.5	Произвольная призма	46
3.3.2.6	Поиск	47
3.3.2.7	Анализ	48
3.3.2.8	Результаты перебора	48
3.4	Редактор свойств.....	49
3.5	Строка состояния.....	50
4	Базовые операции	51
4.1	Управление проектами.....	51
4.1.1	Начать новый проект.....	51
4.1.2	Сохранить проект.....	51
4.1.3	Загрузить существующий проект	52
4.2	Управление изображением	52
4.3	Работа с таблицами	53
4.4	Работа с объектами в графическом поле	53
4.4.1	Использование сетки	54
4.4.2	Выделение объектов.....	54
4.4.3	Перемещение объектов	55
4.4.4	Трансформация объектов.....	56
4.5	Удаление объектов.....	56
4.6	Построение геометрии сечения склона.....	58
4.6.1	Создание областей.....	58
4.6.2	Перемещение узловых точек.....	59
4.6.3	Редактирование списка точек.....	59
4.6.4	Импорт геометрии из файлов DXF.....	60
4.7	Определение свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ).....	61
4.7.1	Использование справочника	62
4.7.2	Назначение полигонам характеристик ИГЭ.....	63
4.8	Задание депрессионной кривой.....	65
4.9	Задание нагрузок.....	66
4.9.1	Задание сосредоточенных сил	67
4.9.2	Задание распределённых нагрузок.....	68
4.10	Задание преград	70
4.11	Задание ограждений	71
4.12	Задание анкеров и нагелей.....	73
4.12.1	Создание анкера	73

4.12.2	Создание группы анкеров.....	75
4.12.3	Создание нагеля.....	76
4.12.4	Создание группы нагелей.....	78
4.13	Задание геосинтетических армирующих элементов.....	79
4.13.1	Создание геосинтетического армирующего элемента.....	79
4.13.2	Создание группы геосинтетических армирующих элементов.....	81
4.14	Выполнение расчётов.....	82
4.14.1	Настройка параметров расчета.....	82
4.14.2	Расчёт с использованием круглоцилиндрических призм.....	84
4.14.2.1	Одиночный расчет.....	85
4.14.2.2	Перебор.....	87
	<i>Быстрый перебор</i>	87
	<i>Настраиваемый перебор</i>	88
4.14.2.3	Оптимизационный поиск.....	90
4.14.3	Расчет с использованием призм произвольной конфигурации.....	90
4.14.3.1	Одиночный расчет.....	91
4.14.3.2	Оптимизационный поиск.....	93
4.15	Анализ результатов.....	93
4.15.1	Формирование отчета.....	94
4.15.2	Анализ призмы.....	94
4.15.3	Список призм.....	97
5	Пример расчёта 1.....	99
5.1	Новый проект.....	99
5.2	Построение геометрии.....	99
5.3	Физико механические свойства грунтов.....	101
5.4	Задание нагрузок.....	102
5.5	Задание анкеров.....	103
5.6	Расчёт с использованием метода Феллениуса.....	104
5.7	Отчёт.....	106
6	Пример расчета 2.....	107
6.1	Новый проект.....	107
6.2	Построение геометрии.....	108
6.3	Физико механические свойства грунтов.....	109
6.4	Задание депрессионной кривой.....	110
6.5	Расчёт.....	110
7	Пример расчета 3.....	113
7.1	Новый проект.....	113
7.2	Построение геометрии.....	114
7.3	Физико механические свойства грунтов.....	115
7.4	Задание распределенной нагрузки.....	116
7.5	Анализ устойчивости склона.....	117

Введение

Программа GeoStab предназначена для оценки устойчивости откосов и склонов в условиях сложного геологического строения грунтового массива. Программа позволяет проводить расчет коэффициента запаса устойчивости, а также определять оползневое давление.

Расчет коэффициента запаса устойчивости выполняется для призм с круглоцилиндрической поверхностью скольжения по методам:

- Феллениуса,
- касательных сил,
- Янбу,
- Бишопа,
- Моргенштерна-Прайса,
- Шахунянца,
- Спенсера.

Расчет коэффициента запаса устойчивости выполняется для призм с поверхностью скольжения в виде ломаной линии по методам:

- касательных сил,
- Янбу,
- Моргенштерна-Прайса,
- Шахунянцаб
- Спенсера.

Оползневое давление рассчитывается по методам:

- касательных сил,
- Шахунянца,
- Маслова-Берера.

Коэффициент устойчивости и оползневое давление определяются с учетом следующих факторов:

- внешние нагрузки (сосредоточенные, распределенные силы, сейсмичность),
- анкеры (преднатяжение и сцепление по корню),
- нагели (сцепление по боковой поверхности),
- ограждения,
- геосинтетика,
- грунтовые воды.

Возможности программы:

- Расчет коэффициента запаса устойчивости для заданной поверхности скольжения.
- Поиск перебором опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения (с минимальным коэффициентом устойчивости или с максимальной площадью среди всех призм с коэффициентом устойчивости меньшим заданного).
- Уточнение поверхности скольжения (оптимизация).
- Учет сложного геологического строения грунтового массива: непараллельное расположение слоев, включения в форме линз, выход геологических слоев на поверхность под углом.
- Задание неизвестных физико-механических характеристик грунтов по справочнику, согласно СП 22.13330.2011.
- Учет ограждающей конструкции.
- Построение геометрической модели при помощи встроенного CAD-редактора
- Импортирование готовой геометрии из DXF - файла.
- Сохранение результатов расчета в виде отчета в формате Word.

Программа сертифицирована на соответствие нормативным документам.

Примечание:

Некоторые опции недоступны в Lite-версии программы.

Теория

1. Общие положения

Основой оценки устойчивости массивов грунта является сопоставление их действительного расчетного напряженного состояния с предельно возможным. В основу инженерных методов оценки устойчивости сооружений положено понятие о **коэффициенте запаса устойчивости** [1], который в достаточно общем виде можно представить в виде:

$$K_y = R/R_d$$

где R – «обобщенное» **реактивное предельное сопротивление грунта** действию разрушающей нагрузки; R_d – реакция массива грунта на **действующую нагрузку**. Таким образом, K_y имеет определенный физический смысл и показывает, в какой мере использовано возможное предельное сопротивление грунта. Важно, что при этом сопоставляются только одинаковые по природе реактивные силы – предельные и действующие.

Кроме того, должно выполняться условие равновесия:

$$R_d - P = 0$$

где P – «обобщенная» активная сила, соответствующая рассматриваемому (действительному) состоянию грунтового массива.

Совместное решение уравнения физического понятия о коэффициенте запаса устойчивости и уравнения равновесия приводит к выражению для K_y в виде:

$$K_y = R/P$$

Можно использовать и другой путь определения K_y , исходя из соотношений:

$$K_y = \frac{T_{\text{пр. реакт}}}{T_{\text{действ. реакт}}} \quad \text{или} \quad K_y = \frac{M_{\text{пр. реакт}}}{M_{\text{действ. реакт}}}$$

где $T_{\text{пр. реакт}}$ и $M_{\text{пр. реакт}}$ – сумма проекций или моментов всех реактивных сил в предельном состоянии; $T_{\text{действ. реакт}}$ и $M_{\text{действ. реакт}}$ – сумма проекций или моментов действующих реактивных сил. Условия равновесия, которые в этом случае можно представить в виде:

$$T_{\text{д.р}} = T_{\text{д.а}} \quad \text{или} \quad M_{\text{д.р}} = M_{\text{д.а}}$$

Совместное решение уравнений приводит к выражениям для K_y в виде

$$K_y = \frac{T_{\text{п. р}}}{T_{\text{д. а}}} \quad \text{или} \quad K_y = \frac{M_{\text{п. р}}}{M_{\text{д. а}}}$$

В ряде случаев коэффициент запаса определяют из соотношения характеристик сопротивления грунтов сдвигу, при которых происходит разрушение оснований и откосов с фактически имеющимися значениями этих характеристик, т.е.

$$K_y = \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_{\text{пр}} = c / c_{\text{пр}},$$

где φ и c – действительные значения углов внутреннего трения и сцепления; $\varphi_{\text{пр}}$ и $c_{\text{пр}}$ – характеристики прочности, при которых в условиях действующих нагрузок грунт перейдет в предельное состояние. Таким образом, $\varphi_{\text{пр}}$ и $c_{\text{пр}}$ – это такие уменьшенные значения характеристик сопротивления грунта сдвигу, при которых в эксплуатационных условиях основание или сооружение потеряло бы устойчивость (т.е. $K_y = 1$).

Существуют предложения определять коэффициенты запаса устойчивости как

$$K_y = \frac{E_{\text{удерж}}}{E_{\text{сдвиг}}} \quad \text{или} \quad K_y = \frac{M_{\text{удерж}}}{M_{\text{сдвиг}}}$$

т.е. отношение действующих в различных направлениях усилий или их моментов (удерживающих и сдвигающих). Следует обратить внимание, что определение коэффициента запаса по этим формулам может отличаться от предыдущих формул, так как ряд усилий в них учитывается различно. Например, вес грунта в случае немонотонной поверхности скольжения будет относиться в одной части к сдвигающим силам, в другой – к удерживающим. Становится очевидно, что применение последних формул не обосновано и может приводить к грубым ошибкам. Подразделять силы на сдвигающие и удерживающие **не следует**. Необходимо *использовать только разделение всех сил на активные и реактивные*, а последние в свою очередь на предельные и действующие [2].

Тем не менее, существуют методы, основанные на разделении сил на сдвигающие и удерживающие, например аналитический метод Шахунянца [1,2]. Стоит отметить, что данный метод нашел широкое распространение в железнодорожной отрасли и является рекомендуемым к применению, согласно действующих нормативных документов [3].

2. Гипотезы

Все расчетные методики основаны на применении теории предельного равновесия с учетом ряда допущений:

- используется гипотеза затвердевшего тела;
- рассматривается участок склона шириной 1 метр; условия его работы сохраняются для всего склона;
- принимается определенная форма поверхности скольжения;
- принимаются допущения о гидродинамических и сейсмических воздействиях.

При выполнении расчетов поверхность скольжения принимается в виде простейших форм - ломаная, дуга окружности и т.д. Для удобства и повышения точности расчета сползающий грунтовый блок (*призма сдвига*) разбивается вертикальными линиями на ряд отсеков (элементарных призм). Обычно отсеки принимаются такими (рис.1.), чтобы без потери

точности в их пределах можно было поверхность принимать за плоскость, а состояние грунта, очертание склона, силовые воздействия практически однородными.

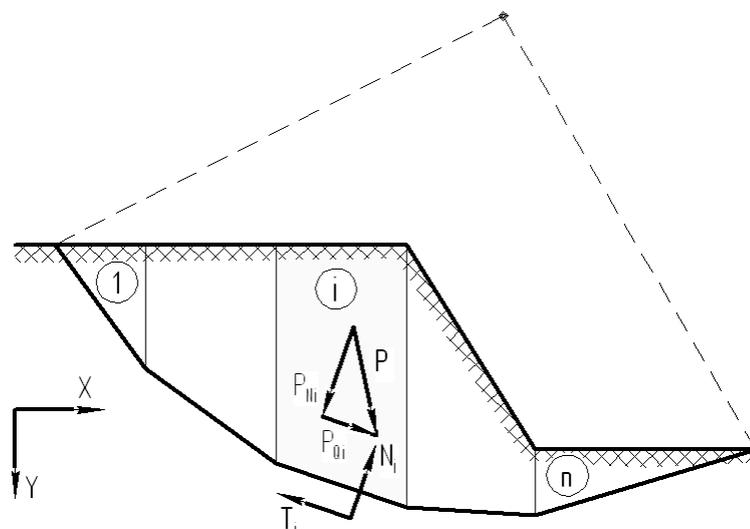


Рис.1. Призма сдвига

Все силы, действующие на отсек условно можно разделить на две группы. Первую группу формируют фактически приложенные **активные (внешние) силы** P , такие как вес, внешние распределенные и сосредоточенные нагрузки, сила реакции основания и т.д. Вторую группу формируют **реактивные силы (силы сопротивления сдвигу)** R , к которым можно отнести силы трения и сцепления грунта на поверхности скольжения отсека и силы сопротивления от удерживающих конструкций (анкеров и нагелей).

Согласно теории Мора-Кулона предельная величина силы сопротивления грунта на поверхности скольжения R_i определяется в виде:

$$R_i = S_i \tan(\varphi_i) + c_i l_i,$$

где

S_i – нормальная реакция основания. В простейших случаях $S_i = N_i$, т.е. реакция основания по модулю равна нормальной проекции активных сил;

φ_i – осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека;

c_i – осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека;

l_i – длина поверхности скольжения в пределах i -го отсека.

Предполагается, что для всех отсеков фактически достигаемая величина

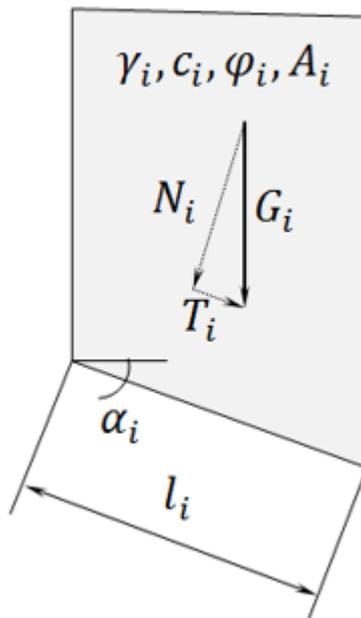
$$R_i^{\text{факт}} = R_i / K_y,$$

где K_y – это некоторый числовой коэффициент, который в ряде подходов и принято считать коэффициентом устойчивости. Снижение величины K_y менее единицы означает, что для выполнения уравнений равновесия фактическая величина сил сопротивления должна превысить максимально возможное значение, что физически невозможно. Данное состояние трактуется как состояние потери устойчивости.

Методики определения коэффициента устойчивости строятся на базе различных моделей поведения оползневого тела. Различие между методиками состоит в том, какие уравнения статики используются, учитываются или нет силы взаимодействия между отсеками, и каким образом определяется сила реакции основания в каждом отсеке.

Дополнительным этапом оценки устойчивости склонов является определение оползневого давления, т.е. усилий в зоне контакта соседних отсеков призмы сдвига. Анализ данной величины позволяет определять воздействие, передающееся от грунтовых масс на удерживающие конструкции, и назначать для этих конструкций места заложения. Рациональным местом заложения удерживающего сооружения по длине оползня полагается отсек, для которого оползневое давление минимально [4].

3. Обозначения



K_y – коэффициент запаса устойчивости;

G_i – вес i -го отсека;

P_i – равнодействующая внешних активных сил i -го отсека. В простейшем случае если из активных сил присутствует только Вес отсека, то $P_i = G_i$;

$M_{акт\ i}$ – суммарный момент внешних активных сил i -го отсека. В общем случае

$M_{\text{акт } i} = \sum T_{ij}r_j$, где T_{ij} – это касательные проекции конкретных активных сил, принадлежащие i -му отсеку (второй индекс j отвечает за тип активной силы в отсеке, например: вес i -го отсека, сосредоточенные силы i -го отсека и т.д.); r_j – плечо конкретной активной силы, i -го отсека. В простейшем случае если из активных сил присутствует только Вес отсека, то $M_{\text{акт } i} = G_i r_0$, где r_0 – радиус поверхности скольжения;

N_i – нормальная проекция к основанию i -го отсека от равнодействующей активных сил P_i . В простейшем случае если из активных сил присутствует только Вес отсека, то $N_i = G_i \cos \alpha_i$;

T_i – касательная проекция к основанию i -го отсека от равнодействующей активных сил P_i . В простейшем случае если из активных сил присутствует только Вес отсека, то $T_i = G_i \sin \alpha_i$;

S_i – нормальная реакция основания i -го отсека. В простейшем случае при отсутствии сил взаимодействия между отсеками и без учета анкеров и нагелей $S_i = N_i$;

γ_i – осредненное значение удельного веса грунта i -го отсека;

c_i – осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека;

φ_i – осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i -го отсека;

l_i – длина поверхности скольжения в пределах i -го отсека;

A_i – площадь i -го отсека;

α_i – угол наклона поверхности скольжения в пределах i -го отсека (положительное направление против часовой стрелки);

$N_i \tan \varphi_i$ – модуль условной силы трения по основанию i -го отсека;

$c_i l_i$ – модуль силы сцепления по основанию i -го отсека;

R_i – касательная реакция основания i -го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i -го отсека без учета пассивных сил от анкеров, нагелей. В большинстве методов $R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i$ – модуль условной силы трения и сцепления по основанию i -го отсека;

$N_i^{\text{арм}}$ – нормальная проекция к основанию i -го отсека от равнодействующих реактивных сил анкеров и нагелей;

$T_i^{\text{арм}}$ – касательная проекция к основанию i -го отсека от равнодействующих реактивных сил анкеров и нагелей;

$M_{\text{реакт } i}$ – суммарный момент внешних реактивных сил i -го отсека. В общем случае он равен $M_{\text{реакт } i} = r_0 \cdot (S_i \tan \varphi_i + c_i l_i + T_i^{\text{арм}})$.

4. Методы расчета

В программе реализованы следующие методы определения коэффициента устойчивости:

- [Метод Феллениуса](#)
- [Метод касательных сил](#)
- [Метод Бишопа](#)
- [Метод Янбу](#)
- [Метод Моргенштерна-Прайса](#)
- [Метод Шахунянца](#)
- [Метод Спенсера](#)

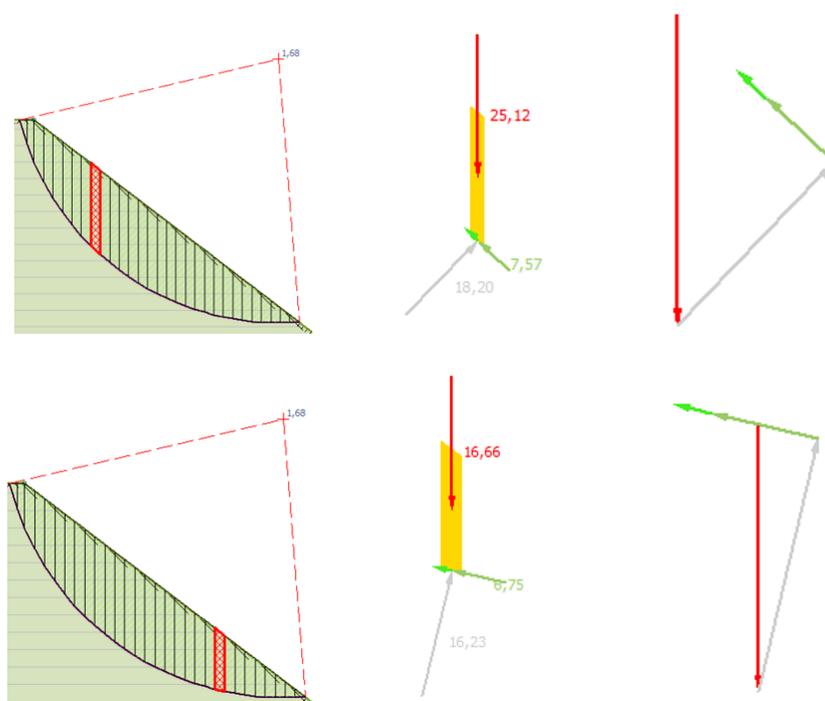
Учёт различных факторов в методах:

Метод	$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Феллениуса	Да	Нет	Нет	Нет
Касательных сил	Нет	Да	Нет	Нет
Бишопа (simplified Bishop)	Да	Нет	Да	Нет
Янбу (simplified Janby)	Нет	Да	Да	Нет
Моргенштерна-Прайса	Да	Да	Да	Да
Шахунянца	Нет	Да	Да	Нет
Спенсера	Да	Да	Да	Да

Метод Феллениуса

Этот метод достаточно подробно рассмотрен в литературе и часто применяется на практике. Этот метод используется для анализа призм только с круглоцилиндрической поверхностью скольжения.

Метод не предполагает взаимодействия между отсеками и обеспечивает выполнение суммарного уравнения моментов, а также уравнения равновесия в каждом отсеке в проекции на нормаль к основанию.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Да	Нет	Нет	Нет

С учетом того, что суммарные моменты сил внешней нагрузки и сил сопротивления имеют разные знаки, уравнение моментов может быть записано в виде:

$$\sum M_{\text{акт } i} - \frac{\sum M_{\text{реакт } i}}{K_y} = 0,$$

где

$\sum M_{\text{акт } i}$ – суммарный момент внешних активных сил;

$\sum M_{\text{реакт } i}$ – суммарный момент сил сопротивления сдвигу;

K_y – коэффициент устойчивости, определяющий долю реализации сил сопротивления.

Общая формула метода

Таким образом, коэффициент устойчивости определяется из следующего соотношения:

$$K_y = \frac{\sum M_{\text{реакт } i}}{\sum M_{\text{акт } i}}. \tag{1}$$

При вычислении сил сопротивления необходимо определить силу нормальной реакции основания S_i для каждого отсека. В рамках данного метода для вычисления S_i используется уравнение равновесия сил в проекции на нормаль к основанию.

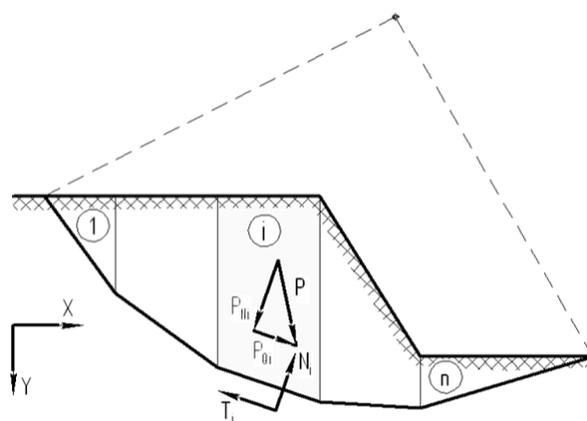


Рис.2. Призма сдвига

Все внешние **активные силы** (вес грунта в отсеке, внешняя нагрузка и т.д.), действующие на i -й отсек, приводятся к равнодействующей P_i . Последняя раскладывается на составляющие: нормальную N_i и касательную T_i к плоскости основания отсека. В случае отсутствия армирующих элементов уравнение равновесия в проекции на нормаль к основанию принимает вид (рис.2):

$$S_i = N_i$$

Учет только веса

Если внешние силы включают в себя только вес грунта, то

$$N_i = G_i \cos \alpha_i \quad T_i = G_i \sin \alpha_i$$

и коэффициент устойчивости определяется по формуле:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \alpha_i}$$

Учет произвольных активных сил

Если внешние силы включают в себя кроме веса грунта произвольные активные силы (сосредоточенные, распределенные, сейсмические и т.д.), то коэффициент устойчивости определяется по формуле:

$$K_y = \frac{r_0 \sum_{i=1}^n (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (T_{ij} r_j)}$$

где

r_0 – радиус круглоцилиндрической поверхности скольжения;

r_j – расстояние от точки приложения касательной проекции силы T_{ij} до центра круглоцилиндрической поверхности скольжения.

Учет анкеров и нагелей

Учет влияния удерживающих конструкций (анкеров, нагелей и т.д.) на процесс обрушения достигается введением в рассмотрение дополнительных сил сопротивления, действующих на призму сдвига, максимально возможную величину которых обозначим через $P_i^{\text{арм}}$. Как и с активными силами $P_i^{\text{арм}}$ раскладывают на нормальные $N_i^{\text{арм}}$ и касательные $T_i^{\text{арм}}$ проекции к

основанию отсека. Так как в общем случае данные усилия направлены произвольно, то уравнение равновесия в проекции на нормаль к основанию принимает вид:

$$S_i = N_i + \frac{N_i^{\text{арм}}}{K_y}$$

То есть нормальная реакция основания отсека S_i определяется не только нормальной проекцией равнодействующей активных сил N_i , но и нормальной реакцией от удерживающих сооружений (анкеров, нагелей) $N_i^{\text{арм}}$. Необходимость деления $N_i^{\text{арм}}$ на коэффициент устойчивости K_y вытекает из его определения. Коэффициент устойчивости определяет долю реализации сил сопротивления, а реакция $N_i^{\text{арм}}$ также является силой сопротивления.

Таким образом, момент сил сопротивления становится зависящим от K_y , и соотношение (1) записывается в форме:

$$K_y = \frac{\sum M_{\text{реакт}}(K_y)}{\sum M_{\text{акт}}} \quad (2)$$

Выражение (2) есть нелинейное алгебраическое уравнение относительно K_y , решение которого можно получить итерационными методами.

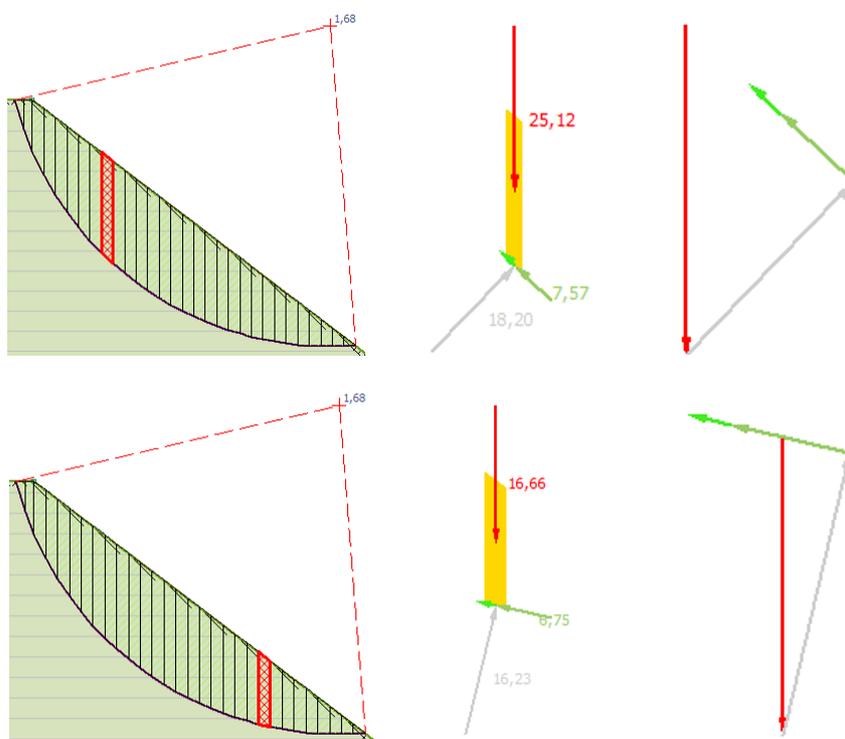
После соответствующих подстановок в выражение (2) получим более подробную форму записи:

$$K_y = \frac{r_0 \sum_{i=1}^n \left(\left(N_i + \frac{N_i^{\text{арм}}}{K_y} \right) \tan \varphi_i + c_i l_i + \frac{r_i^{\text{арм}}}{K_y} \right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (T_{ij} r_j)} \quad (3)$$

Метод касательных сил

Метод целесообразно использовать при определении коэффициента устойчивости массива грунта, сползающего по фиксированной плоской поверхности скольжения. В противном случае метод нельзя считать математически строгим, т.к. складываются разнонаправленные силы [1].

Метод не предполагает взаимодействия между отсеками и обеспечивает выполнение суммарного уравнения равновесия в проекции на направление скольжения, а также уравнения равновесия в каждом отсеке в проекции на нормаль к основанию.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Нет	Да	Нет	Нет

Суммарное уравнение равновесия в проекции на касательное направление записывается в виде:

$$\sum T_i - \frac{\sum R_i}{K_y} = 0,$$

где

T_i - касательная проекция P_i к основанию i -го отсека;

R_i - предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i -го отсека.

Общая формула метода

В результате коэффициент устойчивости определяется из следующего соотношения:

$$K_y = \frac{\sum R_i}{\sum T_i}. \tag{4}$$

Учет только веса

После соответствующих подстановок получим конечную формулу без учета пассивных сил удерживающих конструкций (анкеров, нагелей):

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \alpha_i}$$

Учет произвольных активных сил

Если внешние силы включают в себя кроме веса грунта произвольные активные силы (сосредоточенные, распределенные, сейсмические и т.д.), то коэффициент устойчивости определяется по формуле:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

Учет анкеров и нагелей

Как и в случае использования метода Феллениуса для определения нормальной реакции основания S_i используется уравнение равновесия сил в проекции на нормаль к основанию отсека:

$$S_i = N_i + \frac{N_i^{\text{арм}}}{K_y}$$

Таким образом, силы сопротивления становятся зависящими от K_y , и соотношение (4) записывается в форме:

$$K_y = \frac{\sum R_i(K_y)}{\sum T_i} \quad (5)$$

Выражение (5) есть нелинейное алгебраическое уравнение относительно K_y , решение которого можно получить итерационными методами.

После соответствующих подстановок в выражение (5) получим более подробную форму записи:

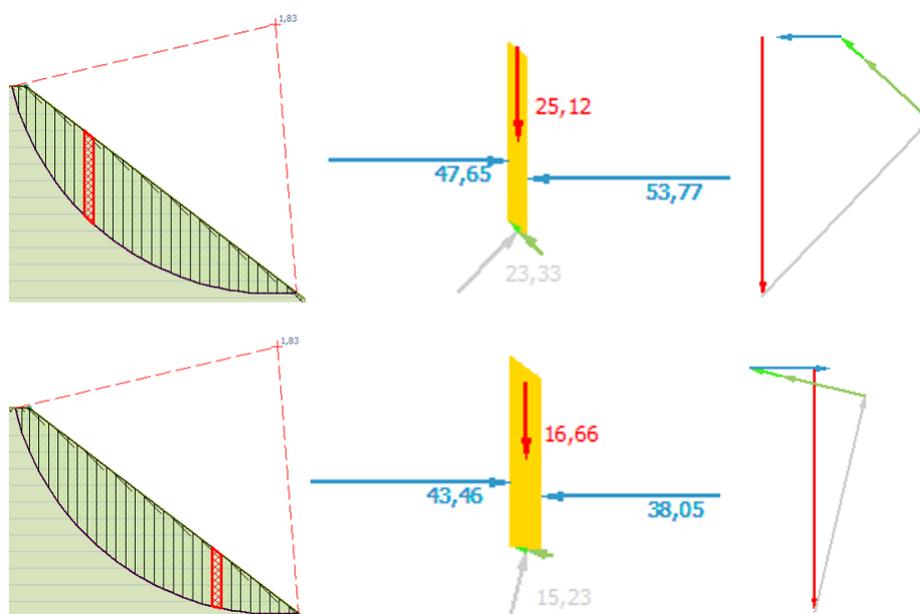
$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\left(N_i + \frac{N_i^{\text{арм}}}{K_y} \right) \tan \varphi_i + c_i l_i + \frac{T_i^{\text{арм}}}{K_y} \right)}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (6)$$

Стоит отметить, что в случае использования круглоцилиндрической поверхности скольжения, вертикальности равнодействующих внешних сил в отсеках и отсутствия армирующих элементов метод Феллениуса и метод касательных сил приводят к идентичным соотношениям для вычисления коэффициента устойчивости.

Метод Бишопа. (Simplified Bishop method)

Как правило, метод используется для анализа призм с круглоцилиндрической поверхностью скольжения.

Метод требует выполнения суммарного уравнения моментов, а также уравнения равновесия в каждом отсеке в проекции на вертикаль.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Да	Нет	Да	Нет

С учетом того, что суммарные моменты сил внешней нагрузки и сил сопротивления имеют разные знаки, уравнение моментов может быть записано в виде:

$$\sum M_{\text{акт}} - \frac{\sum M_{\text{реакт}}}{K_y} = 0,$$

где

$\sum M_{\text{акт}}$ – суммарный момент равнодействующих активных сил;

$\sum M_{\text{реакт}}$ – суммарный момент сил сопротивления сдвигу;

K_y – коэффициент устойчивости, определяющий долю реализации сил сопротивления.

Общая формула метода

Таким образом, коэффициент устойчивости определяется из следующего соотношения:

$$K_y = \frac{\sum M_{\text{реакт}}}{\sum M_{\text{акт}}}. \tag{7}$$

Нормальные реакции основания в отсеках определяются из условий выполнения уравнения равновесия в каждом отсеке в проекции на вертикальную ось Y .

Все внешние силы, действующие на i -й отсек, приводятся к равнодействующей P_i . Последняя раскладывается на горизонтальную P_{xi} и вертикальную P_{yi} составляющие.

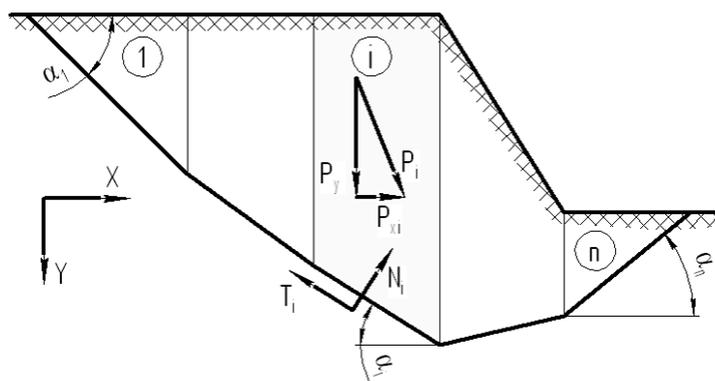


Рис.3. Призма сдвига

В случае отсутствия армирующих элементов уравнение равновесия i -го отсека в проекции на вертикаль принимает вид (рис.3):

$$S_i \cos(\alpha_i) - P_{yi} + \frac{S_i \tan(\varphi_i) + c_i l_i}{K_y} \sin(\alpha_i) = 0$$

откуда

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

С учетом влияния армирующих элементов (при устройстве анкеров и нагелей)

$$S_i \cos(\alpha_i) - P_{yi} - \frac{P_{yi}^{арм}}{K_y} + \frac{S_i \tan(\varphi_i) + c_i l_i}{K_y} \sin(\alpha_i) = 0$$

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi} + \frac{P_{yi}^{арм}}{K_y}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

Следует отметить, что S_i и, как следствие, силы сопротивления являются величинами, зависящими от K_y . Следовательно, выражение (7) принимает вид:

$$K_y = \frac{\sum M_{реакт}(K_y)}{\sum M_{акт}}$$

В результате мы получаем нелинейную алгебраическую задачу относительно K_y , решение которой выполняется с помощью итерационных методов.

Учет только веса

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i(K_y) \cdot tg \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \alpha_i}$$

Учет произвольных активных сил

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

$$K_y = \frac{r_0 \sum_{i=1}^n (S_i(K_y) \cdot tg \varphi_i + c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (P_{ij} h_j)}$$

где

P_{ij} – модули активных сил, принадлежащих i -му отсеку;

h_i – плечо активной силы P_{ij} .

Учет анкеров и нагелей

$$S_i = \frac{\frac{P_{yi} + \frac{P_i^{арм}}{K_y}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{\left(1 + \frac{\tan(\varphi_i)}{K_y} \tan(\alpha_i)\right)}$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i(K_y) tg \varphi_i + c_i l_i) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i^{арм}}{K_y} h_i^{арм}\right)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (P_{ij} h_j)}$$

где

$P_i^{арм}$ – модуль силы от удерживающей конструкции;

$h_i^{арм}$ – плечо силы $P_i^{арм}$.

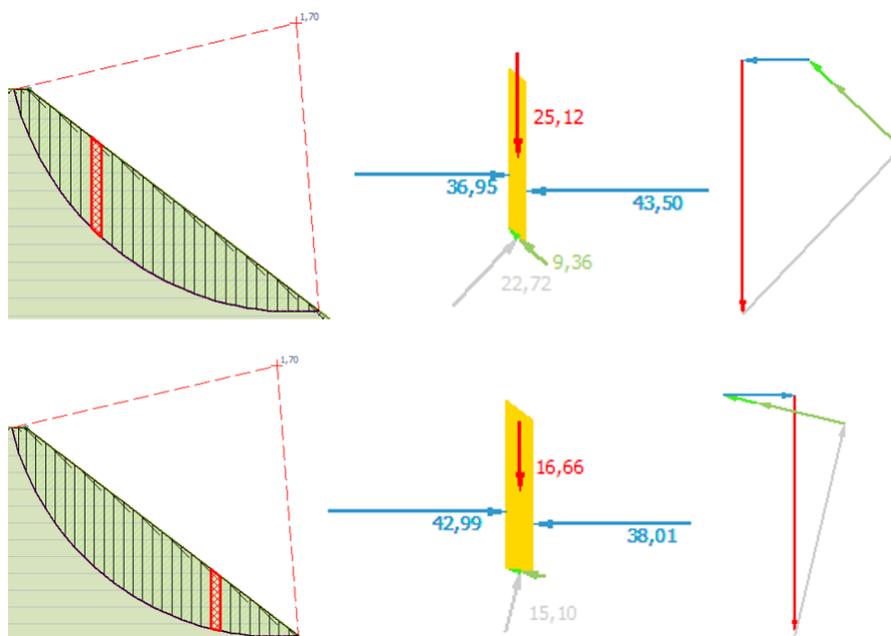
Метод Бишопа предполагает возможность определения сил взаимодействия между отсеками, полагая, что эти усилия строго горизонтальны. Все приведенные ранее соотношения останутся без изменений, так как

- горизонтальные силы взаимодействия между отсеками не вносят вклад в уравнения равновесия в отсеках в проекции на вертикаль;
- силы в соседних отсеках разнонаправлены и равны по величине, следовательно, их суммарный момент равен нулю.

Силы взаимодействия между отсеками определяются из условия выполнения для каждого отсека уравнения моментов и условия равенства нулю данной силы на границе призмы.

Метод Янбу. (Simplified Janby method)

Метод требует выполнения суммарного уравнения равновесия в проекции на горизонтальную ось, а также уравнения равновесия в каждом отсеке в проекции на вертикаль.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Нет	Да	Да	Нет

Все внешние силы, действующие на i -й отсек, приводятся к равнодействующей P_i . Последняя раскладывается на горизонтальную P_{xi} и вертикальную P_{yi} составляющие.

Общее уравнение равновесия в проекции на горизонтальную ось X примет вид:

$$\sum P_{xi} + \sum S_i \sin(\alpha_i) - \frac{\sum R_i}{K_y} \cos(\alpha_i) = 0 \tag{8}$$

где

S_i – сила нормальной реакции основания в i -м отсеке;

$R_i = S_i \tan(\varphi_i) + c_i l_i$ – максимальное значение силы сопротивления сдвигу;

α_i – угол наклона основания отсека.

Как и в методе Бишопа, сила нормальной реакции основания определяется из условия выполнения в каждом отсеке уравнения равновесия в проекции на вертикаль.

В случае отсутствия армирующих элементов получаем:

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

С учетом влияния армирующих элементов (при устройстве анкеров и нагелей)

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{P_{yi} + \frac{P_{yi}^{арм}}{K_y} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

Общая формула метода

Таким образом, силы S_i и R_i становятся зависящими от K_y , и уравнение (8) может быть записано в виде:

$$K_y = \frac{\sum R_i(K_y) \cos(\alpha_i)}{\sum P_{xi} + \sum S_i(K_y) \cdot \sin(\alpha_i)}$$

В результате мы получаем нелинейную алгебраическую задачу относительно K_y , решение которой выполняется с помощью итерационных методов.

Учет только веса

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i(K_y) \cdot \tan(\varphi_i) + c_i l_i) \cos(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n S_i(K_y) \cdot \sin(\alpha_i)}$$

Учет произвольных активных сил

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{\frac{P_{yi}}{\cos(\alpha_i)} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i(K_y) \cdot \tan(\varphi_i) + c_i l_i) \cos(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n P_{xi} + \sum_{i=1}^n S_i(K_y) \cdot \sin(\alpha_i)}$$

Учет анкеров и нагелей

$$S_i = S_i(K_y) = \frac{P_{yi} + \frac{P_{yi}^{арм}}{K_y} - \frac{c_i l_i}{K_y} \tan(\alpha_i)}{1 + \frac{\tan(\varphi_i) \tan(\alpha_i)}{K_y}}$$

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n \left(S_i(K_y) \cdot \tan(\varphi_i) + c_i l_i + \frac{P_{xi}^{арм}}{K_y} \right) \cos(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n P_{xi} + \sum_{i=1}^n S_i(K_y) \cdot \sin(\alpha_i)}$$

Метод Ямбу предполагает возможность определения сил взаимодействия между отсеками, полагая, что эти усилия строго горизонтальны. Все приведенные ранее соотношения останутся без изменений, так как

- горизонтальные силы взаимодействия между отсеками не вносят вклад в уравнения равновесия в отсеках в проекции на вертикаль;

- силы в соседних отсеках разнонаправлены и равны по величине, следовательно, их суммарный вклад в общее уравнение равновесия в проекции на горизонталь равен нулю.

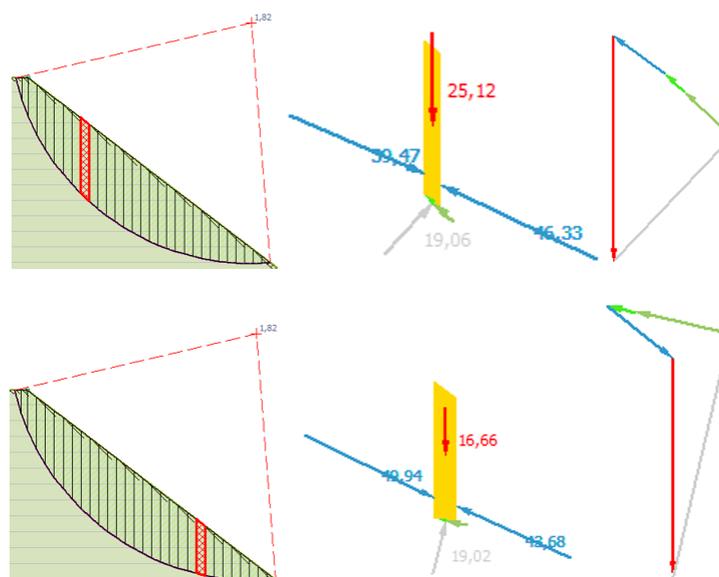
Силы взаимодействия между отсеками определяются из условия выполнения для каждого отсека уравнения равновесия в проекции на горизонтальную ось и условия равенства нулю данной силы на границе призмы.

Метод Моргенштерна-Прайса

Метод требует выполнения для каждого отсека

- уравнения равновесия в проекциях на нормальное и касательное к основанию направления;
- уравнения моментов относительно точки центра основания отсека.

Таким образом, для каждого отсека и соответственно для всей призмы сдвига обеспечивается выполнение всех уравнений статики.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Да	Да	Да	Да

Метод предполагает наличие как горизонтальных E_i , так и вертикальных X_i (рис.4) составляющих сил взаимодействия между отсеками. Предполагается, что X_i связаны с E_i следующим соотношением:

$$X_i = E_i \lambda f(x_i). \tag{9}$$

Где $f(x)$ – некоторая функция, λ – числовой коэффициент. В качестве функции $f(x)$ может выступать константа, полуволна синуса, трапециевидная функция и т.д.

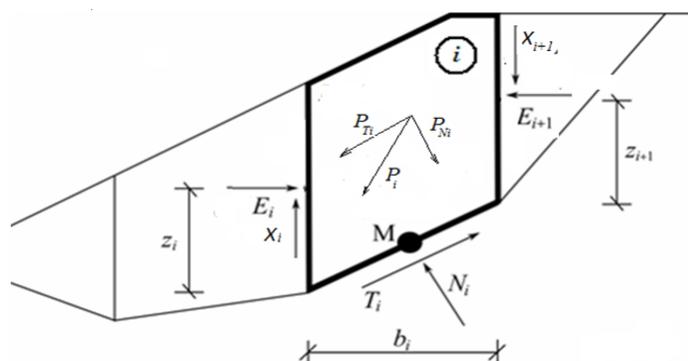


Рис.4. Призма сдвига

Для каждого отсека искомое решение должно удовлетворять следующим уравнениям (рис.4):

уравнению равновесия в проекции на нормаль к основанию отсека:

$$N_i + P_{N_i} + (X_i - X_{i+1}) \cos(\alpha_i) - (E_i - E_{i+1}) \sin(\alpha_i) = 0, \quad (10)$$

уравнению равновесия в проекции на направление касательное к основанию отсека:

$$\frac{(N_i \tan(\varphi_i) + c_i)}{K_y} + P_{T_i} + (E_i - E_{i+1}) \cos(\alpha_i) + (X_i - X_{i+1}) \sin(\alpha_i) = 0, \quad (11)$$

уравнению моментов относительно точки центра основания отсека:

$$M_{P_i} - E_i \left(z_i - \frac{b_i}{2} \sin(\alpha_i) \right) + E_{i+1} \left(z_{i+1} + \frac{b_i}{2} \sin(\alpha_i) \right) - X_i \frac{b_i}{2} - X_{i+1} \frac{b_i}{2} = 0, \quad (12)$$

где P_{N_i} и P_{T_i} – нормальная и касательная к основанию отсека составляющие равнодействующей внешних активных сил P_i , M_{P_i} – момент равнодействующей внешних сил P_i относительно точки M , z_i – расстояния от основания отсека до точки приложения силы межотсечного взаимодействия, b_i – ширина отсека, α_i – угол наклона основания отсека, l_i – длина основания отсека, c и φ – сцепление и угол внутреннего трения грунта, K_y – коэффициент устойчивости.

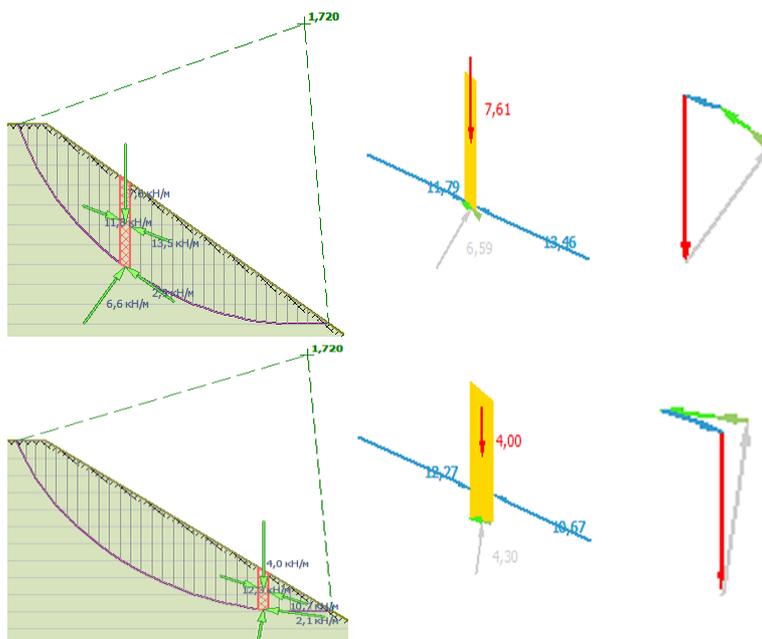
Неизвестными величинами в соотношениях (9) – (12) выступают X_i , E_i , N_i , z_i , λ и K_y . В случае использования n отсеков общее количество неизвестных составляет $4n - 1$, так как в состоянии равновесия $X_1 = 0$, $E_1 = 0$, $X_{n+1} = 0$, $E_{n+1} = 0$, и, следовательно, в соотношениях также не фигурируют z_1 и z_{n+1} . Соотношения (9) – (12) образуют замкнутую систему из $4n - 1$ уравнения, что позволяет определить все неизвестные величины. Алгебраическая система (9) – (12) нелинейна, и для ее решения используются итерационные методики.

Метод Спенсера

Метод требует выполнения для каждого отсека

- уравнения равновесия в проекциях на нормальное и касательное к основанию направления;
- уравнения моментов относительно точки центра основания отсека.

Таким образом, для каждого отсека и соответственно для всей призмы сдвига обеспечивается выполнение всех уравнений статики.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Да	Да	Да	Да

Метод предполагает наличие как горизонтальных E_i , так и вертикальных X_i (рис.4) составляющих сил взаимодействия между отсеками. Предполагается, что X_i связаны с E_i следующим соотношением:

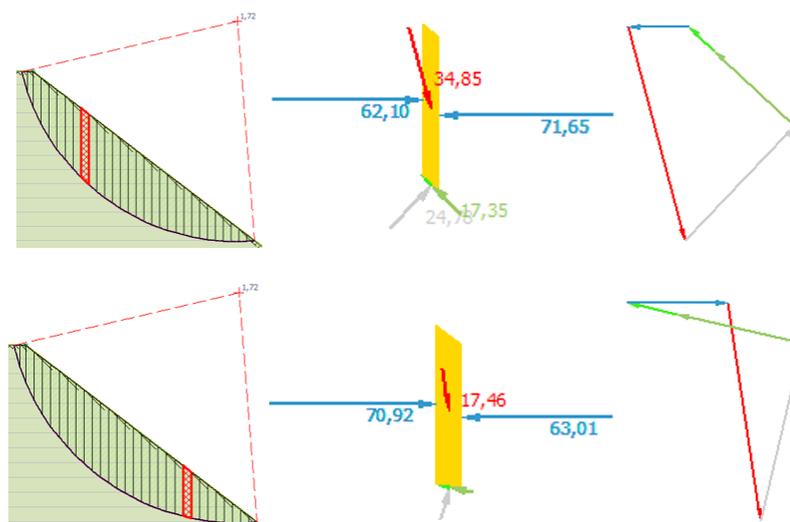
$$X_i = E_i \lambda,$$

что означает постоянство угла наклона сил взаимодействия между отсеками для всей призмы сдвига. Таким образом метод является частным случаем метода [Моргенштерна-Прайса](#) при $f(x)=const$.

Метод Шахунянца

Метод имеет широкое применение при расчете призм произвольной конфигурации.

В этом методе для каждого отсека учитывается воздействие на него соседних элементов, что позволяет более строго соблюсти законы строительной механики. В общем случае Шахунянц предполагает, что указанные силы на контакте элементов направлены под некоторыми углами к горизонтали. В упрощенном варианте эти силы считаются горизонтальными.



$\sum M_i = 0$	$\sum F_i = 0$	Нормальные усилия между отсеками	Касательные усилия между отсеками
Нет	Да	Да	Нет*

Все силы, действующие на элемент, приводятся к равнодействующей, которая раскладывается на нормальную P_{Ni} и касательную P_{Qi} к основанию отсека составляющие. В данном методе учитывается характер влияния касательной составляющей на процесс обрушения, она может выступать в роли сдвигающей ($P_{Qi} = P_{Qi-сд}$) или удерживающей силы ($P_{Qi} = P_{Qi-уд}$). Под коэффициентом устойчивости K_y понимают величину, определяющую, во сколько раз необходимо увеличить касательные проекции внешних активных сдвигающих усилий $P_{Qi-сд}$, чтобы при полностью реализованных силах сопротивления сдвигу выполнялись условия равновесия. Иными словами, в рассматриваемых уравнениях статики все $P_{Qi-сд}$ умножаются на K_y .

Соотношения метода Шахунянца строятся из условия выполнения в каждом отсеке уравнения равновесия в проекциях на касательное и нормальное к основанию направления.

Формула определения коэффициента устойчивости в предположении горизонтальности сил взаимодействия между отсеками принимает вид:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \tan(\varphi_i) + c_i l_i + P_{Q_i-уд}) \lambda_i}{\sum_{i=1}^n P_{Q_i-сд} \lambda_i}$$

$$\lambda_i = \frac{\cos(\varphi_i)}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}$$

α_i – угол наклона поверхности скольжения в отсеке, φ_i – угол внутреннего трения грунта, c_i – коэффициент сцепления материала в пределах отсека; l_i – длина подошвы отсека; $N_i = P_{N_i}$ – нормальная составляющая равнодействующей внешних сил.

Особенности метода

Касательная проекция внешних активных сдвигающих сил умножается на K_y , следовательно, и касательная составляющая веса тела тоже умножается на K_y в отсеках, где вес является сдвигающей силой. Это приводит к тому, что вес тела учитывается уже как сила с углом наклона к вертикали. Это можно заметить при построении многоугольников сил.

Активные силы разделяются на сдвигающие и удерживающие, но такое разделение «не обосновано и может приводить к грубым ошибкам» [2].

5. Учет действия грунтовых вод

Наличие грунтовых вод может приводить к существенному снижению коэффициента устойчивости откосов. Полагается, что уровень вод определяется положением депрессионной кривой (рис. 5), как правило имеющей уклон в сторону свободной поверхности. Грунты, лежащие ниже депрессионной кривой, считаются обводненными.

Влияние грунтовых вод на устойчивость откосов проявляется различными путями. К важным факторам следует отнести изменение физико-механических характеристик грунта, взвешивающее действие воды, воздействие фильтрационного потока.

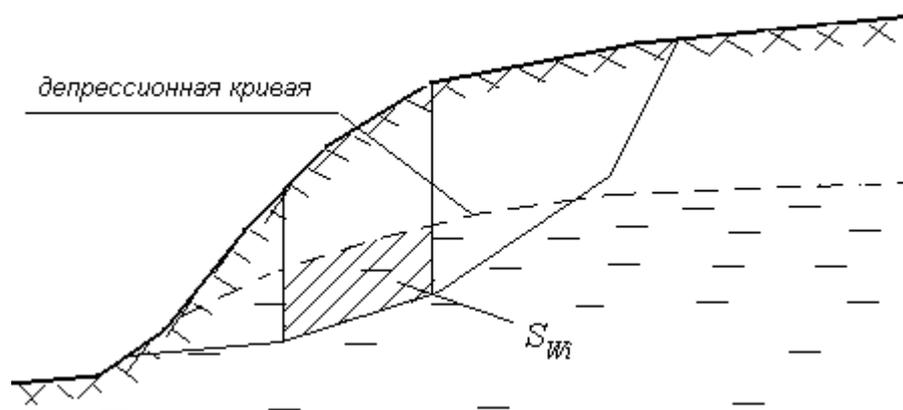


Рис. 5. Депрессионная кривая

Изменение физико-механических характеристик грунта. Насыщая грунты, вода изменяет их характеристики, как правило снижая их сопротивление сдвигу. При оценке устойчивости склона для областей поверхности скольжения, лежащих ниже депрессионной кривой, используются величины *удельного сцепления при замачивании и угла внутреннего трения грунта при замачивании*.

Взвешивающее действие воды. Оказывая взвешивающее действие на грунтовый скелет, вода уменьшает гравитационные силы. При этом снижается нормальное напряжение в плоскости сдвига, что приводит к снижению внутреннего трения. Для учета этого эффекта при определении веса части оползневого отсека, лежащей ниже уровня депрессионной кривой, используется *удельный вес грунта с учетом взвешивания* $\gamma_B = \gamma_{sat} - \gamma_w$, где γ_{sat} - удельный вес грунта с учетом полного водонасыщения, γ_w - удельный вес воды.

Воздействие фильтрационного потока. В случае движения грунтовых вод затопленная часть грунта испытывает действие гидродинамического давления. Учет данного воздействия состоит в приложении в каждом отсеке, частично или полностью лежащем ниже депрессионной кривой, дополнительного усилия - *гидродинамической силы*. Величина гидродинамической силы для отсека равна

$$J_i = S_{wi} \gamma_w i_p$$

где S_{wi} - объем водонасыщенного грунта в пределах элемента, $i_i = \sin(\beta_i)$ - гидродинамический градиент, β_i - угол наклона депрессионной кривой на рассматриваемом участке. Угол наклона результирующей гидродинамической силы принимается равным β_p , точка приложения - точка центра подошвы отсека. Результирующая гидродинамической силы проектируется на нормаль и касательное направление к подошве и суммируется с нормальными и касательными усилиями в отсеке.

6. Учет сейсмических воздействий

Учет сейсмического воздействия осуществляется добавлением к расчетным усилиям в каждом отсеке так называемой сейсмической силы Q_{ci} , действующей в направлении сдвига. Сейсмическая сила Q_{ci} определяется как доля от веса *грунта и воды* G_i в пределах отсека:

$$Q_{ci} = \mu G_p$$

где μ - коэффициент динамической сейсмичности, значения которого рекомендуется при

расчете естественных склонов принимать по табл. 1.

При расчете искусственных откосов (насыпи дорог, плотины т.д.) значения коэффициента из табл. 1 увеличивается в 1,5 раза.

Таблица 1. Коэффициент динамической сейсмичности μ

балльность района	1-6	7	8	9	10	11	12
μ	0.00	0.025	0.05	0.1	0.25	0.50	>0.75

Примечание

Вес затопленной части отсека определяется по формуле $G_{wi} = S_{wi} \gamma_{sat}$ где γ_{sat} - удельный вес грунта для случая полного водонасыщения.

7. Учет влияния нагелей и анкеров

Нагели

Учет влияния нагелей при вычислении коэффициента устойчивости состоит в приложении дополнительного усилия F_n в точке пересечения нагеля с поверхностью скольжения (рис. 6).

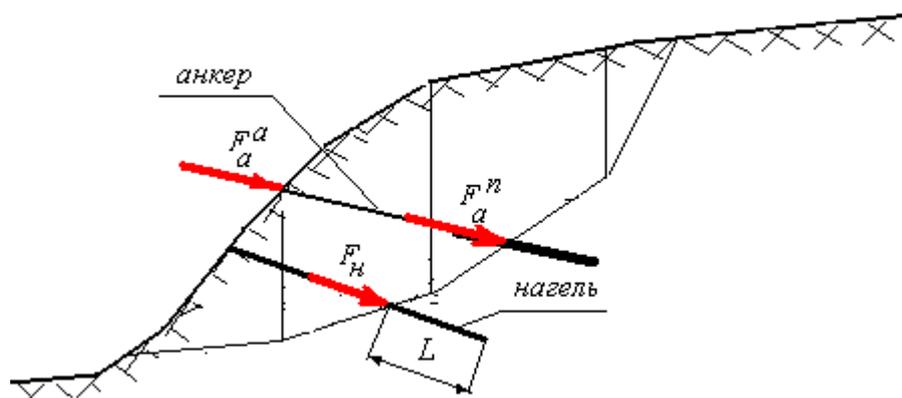


Рис. 6. Учет влияния нагелей и анкеров

Направление усилия определяется таким образом, что оно параллельно оси нагеля и всегда является удерживающим, т.е. противодействует оползневому смещению призмы. Предельная величина усилия определяется по формуле

$$F = \pi D L c,$$

где D - диаметр нагеля, L - длина части нагеля за пределами призмы сдвига, c - сцепление по боковой поверхности нагеля. В случае, когда нагель полностью находится в пределах призмы сдвига удерживающее усилие отсутствует.

Анкеры

Предполагается, что анкер может использоваться в одном из двух режимах:

- режиме преднатяжения;
- режиме сопротивления по корню.

Режим преднатяжения целесообразно использовать в предварительных расчетах, когда не установлена геометрия поверхности скольжения опасной призмы сдвига. К призме сдвига в точке устья анкера прикладывается усилие предварительного натяжения F_a^a , действующее в направлении от свободной поверхности к корню анкера.

Примечание

В случае нахождения устья анкера вне области призмы сдвига влияние усилия на оползневый процесс отсутствует.

В режиме сопротивления по корню в точке пересечения оси анкера с поверхностью скольжения прикладывается усилие F_a^n . Данное усилие параллельно оси анкера и всегда является удерживающим. Величина F_a^n определяется аналогично рассмотренному ранее для нагелей усилию F_n .

8. Учет влияния геосинтетических армирующих элементов

Учет влияния геосинтетических армирующих элементов при вычислении коэффициента устойчивости состоит в приложении дополнительного усилия F_c в точке пересечения линии элемента с поверхностью скольжения (рис. 7).

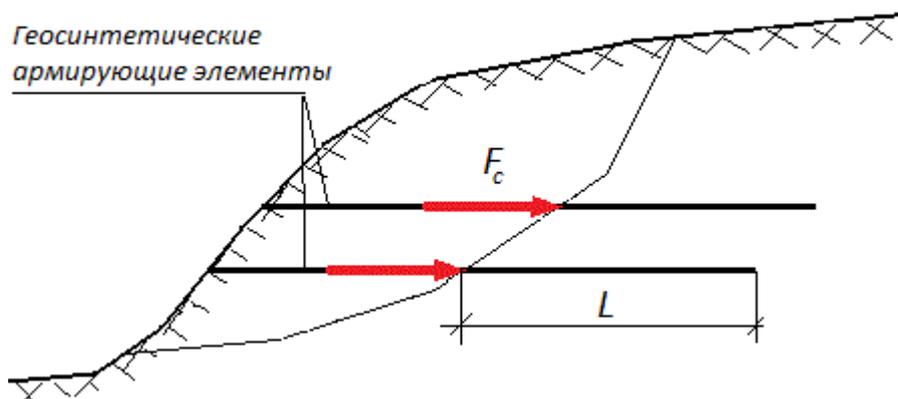


Рис. 7. Учет влияния геосинтетических армирующих элементов

Направление усилия определяется таким образом, что оно параллельно линии элемента и всегда *является удерживающим*, т.е. противодействует оползневому смещению призмы. При определении величины усилия предполагается, что армирующие элементы жестко привязаны к свободной поверхности.

Предельная величина усилия определяется как *минимальное* значение из двух величин:

- прочность геосинтетического материала R_p на разрыв;
- предельное выдергивающее усилие заделки армирующего элемента за поверхностью обрушения T_v .

Предельное выдергивающее усилие заделки определяется по следующей формуле [5, 6]:

$$T_v = 2 \cdot \sigma_v \cdot L \cdot f_B \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где σ_v - нормальные напряжения, действующие на армирующий элемент; L - длина армирующего элемента за поверхностью скольжения; φ - величина угла внутреннего трения грунта; f_B - коэффициент взаимодействия между грунтом и армирующим элементом при выдергивании. Величина коэффициента взаимодействия зависит от характеристик грунта и вида армирующего материала. В [6] рекомендуется величину f_B принимать постоянной для всех видов материалов и равной 0,67.

9. Учет влияния ограждений

Учет влияния ограждений при вычислении коэффициента устойчивости состоит в приложении дополнительного сосредоточенного усилия, действующего на призму сдвига (рис. 8).

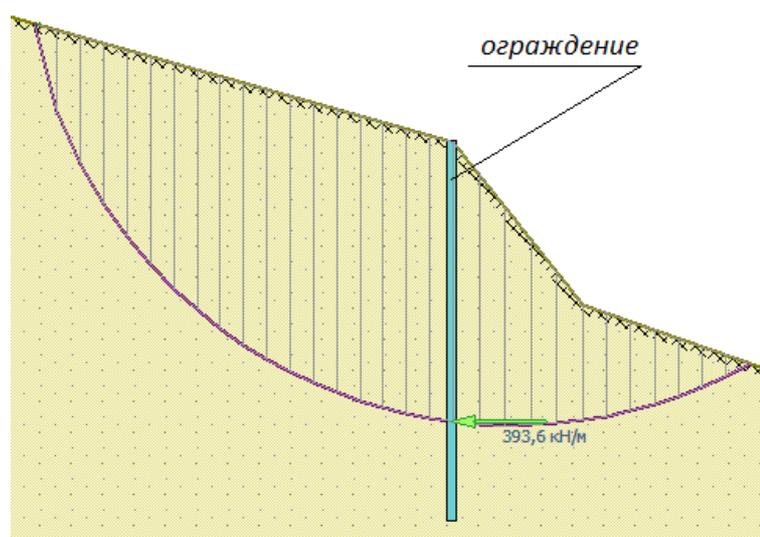


Рис. 8. Учет влияния ограждения

Усилие реакции направлено по нормали к линии ограждения и действует в направлении

противоположном направлению сдвига.

Предельная величина усилия определяется как минимальное значение из трех величин:

- прочность ограждения на срез;
- прочность ограждения на изгиб;
- предельное сопротивление заделки - части ограждения, лежащей ниже поверхности скольжения.

Примечание.

Программа GeoStab позволяет управлять набором учитываемых факторов.

Учет прочности ограждения на срез

В данном случае усилие реакции прикладывается в точке пересечения поверхности скольжения с линией ограждения (рис. 8). Величина усилия задается с учетом конструктивных особенностей ограждения.

Учет прочности ограждения на изгиб

В данном случае усилие реакции прикладывается в точке, соответствующей по высоте точке центра тяжести эпюры активного давления (рис. 9).

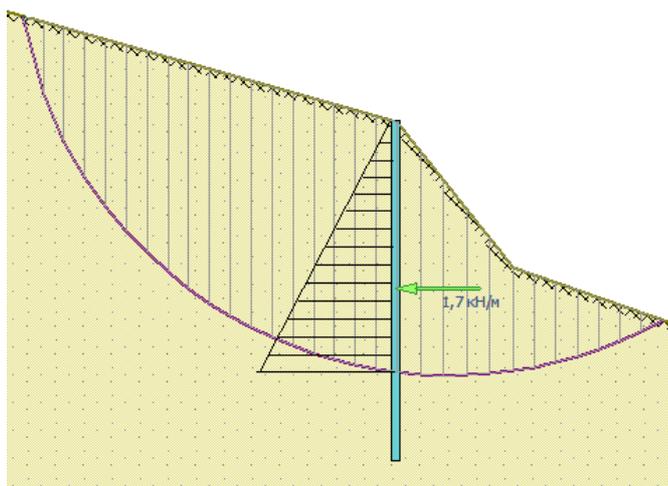


Рис. 9. Учет влияния ограждения. Случай учета прочности ограждения на изгиб

Эпюра активного давления предполагается линейной. Параметры эпюры определяются из условия создания предельного изгибающего момента в точке пересечения поверхности скольжения с линией ограждения. Величина предельного момента задается с учетом конструктивных особенностей ограждения.

Учет предельного сопротивления заделки

В данном случае усилие реакции прикладывается в точке пересечения поверхности скольжения с линией ограждения (рис. 10).

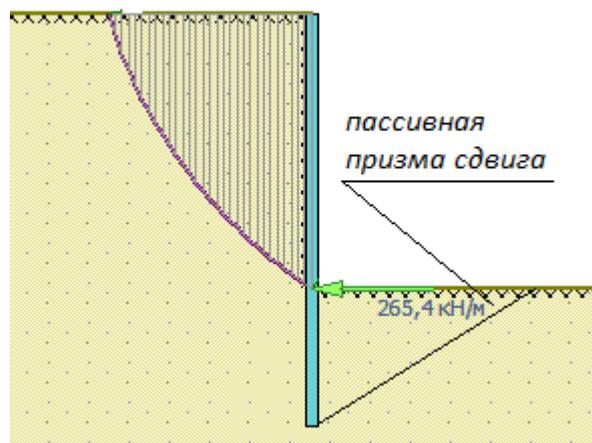


Рис. 10. Учет влияния ограждения. Случай учета предельного сопротивления заделки

Усилие сопротивления обусловлено образованием пассивной призмы сдвига. Величина усилия определяется интегрированием по глубине заделки функции пассивного давления. Зависимость пассивного давления от глубины задается соотношением:

$$p(h) = K_p \cdot \gamma \cdot h + K_{cp} \cdot c,$$

где γ и c - удельный вес и сцепление грунта; $K_p = \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2)$ - коэффициент пассивного давления; $K_{cp} = 2K_p^{1/2}$.

Примечание.

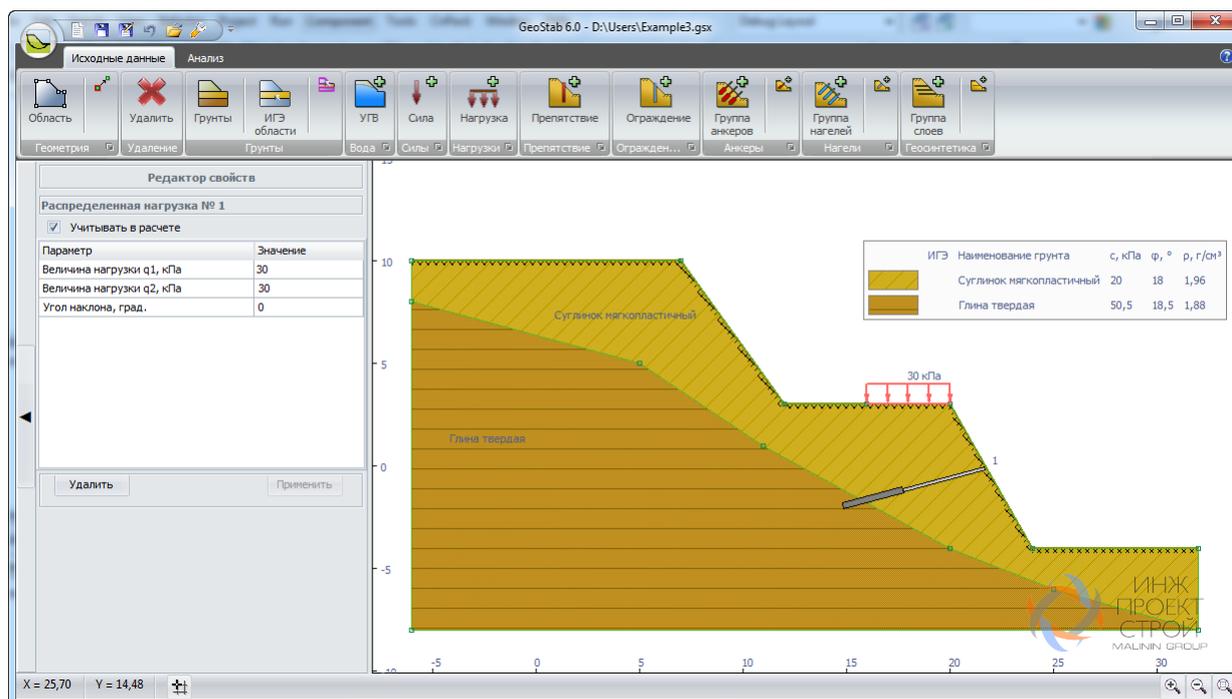
Влияние гидродинамических сил на ограждение не учитывается.

10. Список литературы

1. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления, М, 1986
2. Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений, М. Высшая школа, 1985
3. СП 119.13330.2012 Железные дороги колеи 1520 мм
4. Шахунянец Г.М. Железнодорожный путь. 1963
5. Руководство по проектированию армированных подпорных грунтовых стен, мостовых опор, откосов и насыпей: перевод с английского Г.Б. Гершмана. – М.: Тенсар Интернешнл, 1995
6. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced soil slopes Design & Construction Guidelines / National Highway Institute Office of Bridge Technology. – 2001. – 394 p.

Обзор программы

Окно программы выглядит следующим образом:

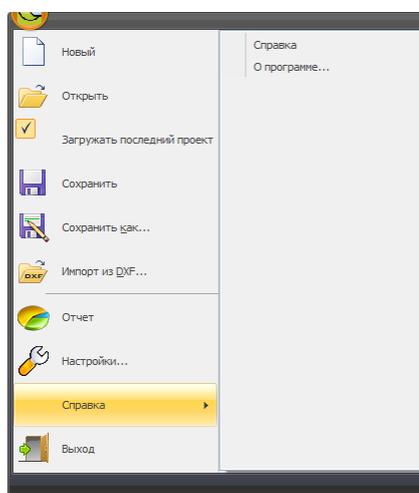


Окно программы состоит из следующих элементов:

- [Главное меню](#),
- [Панель инструментов](#),
- [Лента](#),
- [Редактор свойств](#),
- [Строка состояния](#),
- Графическое поле - используется для отображения расчётной схемы.

1. Основное меню

Главное меню выглядит следующим образом:

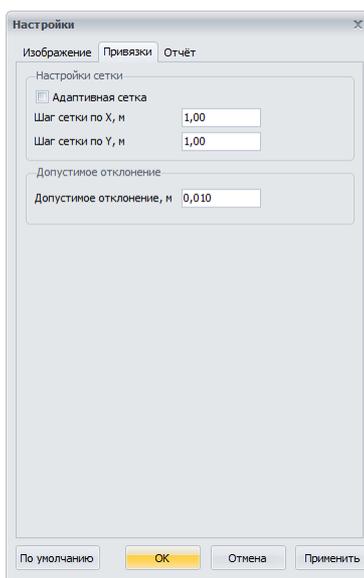


 <i>Новый проект</i>	создаёт новый пустой проект (сочетание клавиш Ctrl + N).
 <i>Открыть...</i>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
 <i>Загрузить последний проект</i>	активация данного пункта приводит к автоматической загрузке последнего открытого проекта при старте программы.
 <i>Сохранить</i>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S).
 <i>Сохранить как...</i>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем.
 <i>Импорт из DXF...</i>	позволяет импортировать геометрию из файлов формата DXF. Это удобно, если у Вас подготовлен чертеж в сторонних программах, например в AutoCAD.
 <i>Отчёт</i>	создает отчет в формате MS Word и выводит его на экран.
 <i>Настройки...</i>	открывает окно настроек программы.
<i>Справка</i>	Содержит меню второго уровня с доп. пунктами.
<i>Справка</i>	показывает справку по программе (быстрый вызов - F1).
<i>О программе...</i>	показывает пользователю информацию о версии программы и контактные данные разработчика.
 <i>Выход</i>	Закрывает окно программы.

Настройки



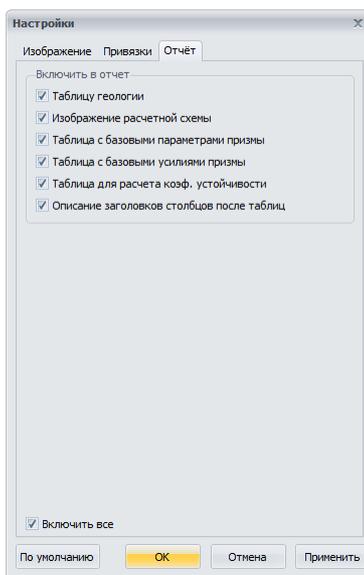
Инструменты вкладки "Изображение" позволяют управлять отображением объектов в графическом поле. Настройки изображения индивидуальны для режимов ["Исходные данные"](#) и ["Анализ"](#)



Вкладка "Привязки" позволяет управлять параметрами сетки и допустимого отклонения.

Координатная сетка используется для привязки создаваемых объектов при помощи мыши. Для задания параметров координатной сетки нужно выбрать шаг по оси X и шаг по оси Y. Также можно выбрать адаптивную сетку - тогда шаги по осям будут выбираться автоматически и будут всегда равны шагам линеек.

Параметр "Допустимое отклонение" определяет минимальное отклонение между опорными точками при их автоматическом создании. Это происходит в случае автопересечения линий при построении геометрии средствами редактора или импорте данных из файла DXF. Точки, расстояние между которыми не превышает значение допустимого отклонения, сливаются.



Инструменты вкладки "Отчёт" позволяют управлять набором информации, которая будет включена в отчёт Microsoft Word.

2. Панель инструментов

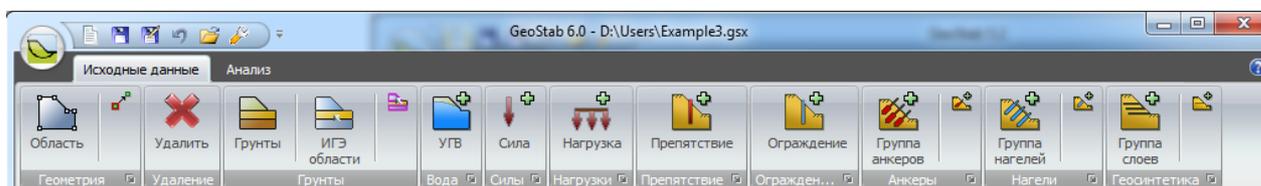


Панель инструментов содержит часто употребляемые команды:

	<i>Новый проект</i>	создать новый пустой проект (сочетание клавиш Ctrl + N).
	<i>Открыть...</i>	открывает диалоговое окно выбора ранее созданного проекта, для продолжения работы над ним (сочетание клавиш Ctrl + O).
	<i>Сохранить</i>	сохраняет текущий проект (сочетание клавиш Ctrl + S)
	<i>Сохранить как...</i>	открывает диалоговое окно сохранения текущего проекта под новым именем
	<i>Отменить</i>	отменить последнюю операцию модификации модели
	<i>Настройки...</i>	открывает окно настроек программы. См. описание Главное меню - Меню Сервис - Настройки

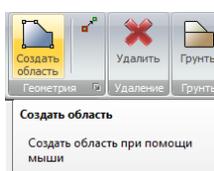
3. Лента

Интерфейс программы основан на "ленточном" представлении команд, подобно последним версиям программ Microsoft Office, AutoCAD и т.д. ЛЕНТА расположена в верхней части окна программы, которая обеспечивает доступ к основным функциям программы вместо традиционного меню и панелей инструментов.



ЛЕНТА содержит в себе несколько ВКЛАДOK, например, [Исходные данные](#), [Анализ](#). ВКЛАДКИ содержат в себе несколько ГРУПП. Команды в группах разделены на групповые и одиночные. К большинству команд при наведении курсора мыши появляется всплывающая контекстная справка.

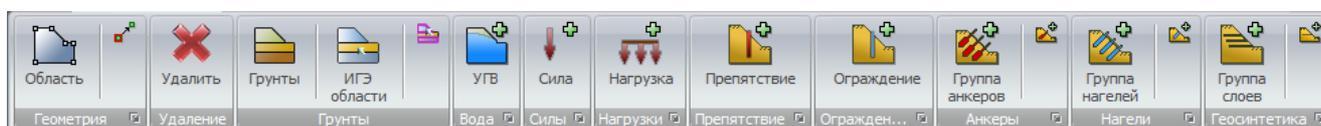
Например, на ВКЛАДКЕ [Исходные данные](#) первая ГРУППА называется [Геометрия](#) и при удерживании курсора мыши над командой создания области появляется следующая подсказка.



Дополнительные функции, относящиеся к ГРУППЕ доступны из диалоговых окон, которые появляются при нажатии на кнопку . Например, для Геометрии после нажатия на эту кнопку появляется диалоговое окно "Таблица точек" с координатами точек в текущем проекте.

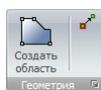
№	X, м	Y, м
1	5,81	11,75
2	7,69	10,21
3	9,06	9,56
4	11,27	8,97
5	13,36	7,87
6	14,12	7,24
7	17,54	6,05
8	19,48	5,46
9	23,40	4,43
10	27,01	2,64
11	30,91	0,96
12	39,21	-1,22

Исходные данные



На вкладке представлены группы кнопок:

Геометрия



— **Геометрия**: позволяет создавать области и перемещать точки.

Группа включает в себя следующие инструменты:

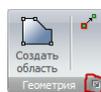


- перейти в режим создания областей при помощи мыши,



- перейти в режим перемещения точек при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств

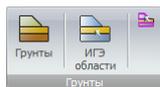


позволяет отобразить таблицу точек:

№	X, м	Y, м
1	5,81	11,75
2	7,69	10,21
3	9,06	9,56
4	11,27	8,97
5	13,36	7,87
6	14,12	7,24
7	17,54	6,05
8	19,48	5,46
9	23,40	4,43
10	27,01	2,64
11	30,91	0,96
12	39,21	-1,22

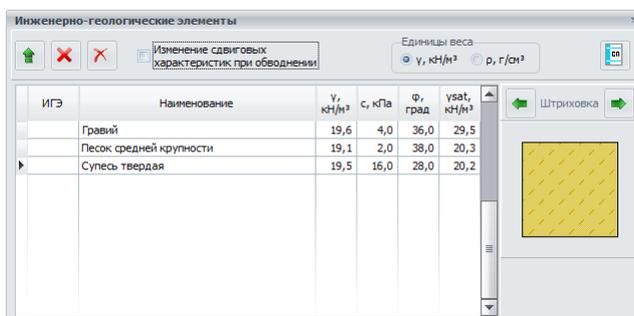
Подробнее о работе с геометрией можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Грунты



– **Грунты**: позволяет задавать ИГЭ.

Кнопка  позволяет активизировать режим табличного редактирования свойств грунтов. Также в данном режиме возможно выполнить привязку текущего ИГЭ к многоугольнику сечения при помощи мыши.



Кнопка  позволяет активизировать режим навигации по многоугольникам сечения с возможностью редактирования свойств ИГЭ в инспекторе объектов. В данном режиме возможно одновременное выделение нескольких многоугольников.

Кнопка  позволяет активизировать режим навигации только по многоугольникам сечения без заданного ИГЭ.

Подробнее о работе с грунтами можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Вода



– **Вода**: позволяет задавать депрессионную кривую.

Группа включает в себя следующие инструменты:



- перейти в режим создания и перемещения узлов депрессионной кривой.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу узлов депрессионной кривой:

№	X, м	Y, м
0	-0,24	9,26
1	8,24	7,43
2	13,39	5,07
3	20,32	1,57
4	23,26	0,92
5	26,73	-0,19
6	33,20	-2,37
7	40,14	-6,80
8	49,04	-9,41

Подробнее о задании депрессионной кривой можно прочитать в [соответствующем](#)

[разделе](#).

Сосредоточенные силы



— **Силы**: позволяет задавать сосредоточенные силы.

Группа включает в себя следующие инструменты:



- перейти в режим создания и перемещения сосредоточенных сил при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу сосредоточенных сил:

№	X, м	Y, м	$\beta, ^\circ$	F, кН	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	7,8	5,5	0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	1	11,6	4,2	0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	2	21,4	2,9	0	100

Подробнее о работе с сосредоточенными силами можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Распределённые нагрузки



— **Нагрузки**: позволяет задавать распределённые нагрузки.

Группа включает в себя следующие инструменты:



- перейти в режим создания распределённых нагрузок при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу распределённых нагрузок:

№	№ линии	q1, кПа	q2, кПа	$\beta, ^\circ$	X1, м	X2, м	Y1, м	Y2, м	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	3	30	30	0	9,1	11,3	9,6	9,0
<input checked="" type="checkbox"/>	1	6	30	30	0	14,1	17,5	7,2	6,1
<input checked="" type="checkbox"/>	2	0	30	30	0	2,3	5,8	13,0	11,8

Подробнее о работе с распределёнными нагрузками можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Препятствия



– **Препятствия:** позволяет задавать неразрушаемые препятствия (недоступно в Lite-версии).

Группа включает в себя следующие инструменты:



- перейти в режим создания и перемещения преград при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу объектов преграда

№	X, м	Y, м	$\beta, ^\circ$	L, м	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	9,2	10,3	16	8,8
<input checked="" type="checkbox"/>	1	24,2	9,4	355	15,4
<input checked="" type="checkbox"/>	2	30,6	0,1	181	4,0

Подробнее о работе с преградами можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

В ранних версиях программы объект *преграда* именовался *ограждение*.

Ограждения



– **Ограждения:** позволяет задавать разрушаемые ограждения (недоступно в Lite-версии).

Группа включает в себя следующие инструменты:



- перейти в режим создания и перемещения ограждений при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств

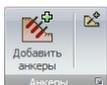


позволяет отобразить таблицу ограждений

№	X, м	Y, м	L, м	Fult, кН/м	Mult, кН/м
0	18,4	7,0	12,4	600,0	700,0
1	27,4	2,5	8,8	600,0	700,0

Подробнее о работе с ограждениями можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Анкеры



– **Анкеры:** позволяет задавать анкеры (недоступно в Lite-версии).

Группа включает в себя следующие инструменты:

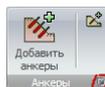


- перейти в режим создания группы анкеров при помощи мыши,



- перейти в режим создания и перемещения анкера при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств

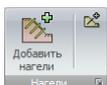


позволяет отобразить таблицу анкеров

№	X, м	Y, м	D, мм	$\beta, ^\circ$	L1, м	L2, м	S, м	C, кПа
0	15,4	6,8	300	25	8,0	6,0	2,5	100
1	17,8	6,0	300	25	8,0	6,0	2,5	100
2	20,2	5,3	300	25	8,0	6,0	2,5	100
3	22,6	4,6	300	25	8,0	6,0	2,5	100
4	24,9	3,7	300	25	8,0	6,0	2,5	100
5	27,2	2,6	300	25	8,0	6,0	2,5	100
6	29,5	1,6	300	25	8,0	6,0	2,5	100

Подробнее о работе с анкерами можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Нагели



– **Нагели:** позволяет задавать нагели (недоступно в Lite-версии).

Группа включает в себя следующие инструменты:

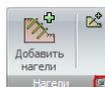


- перейти в режим создания группы нагелей при помощи мыши.



- перейти в режим создания и перемещения нагеля при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу нагелей

№	X, м	Y, м	D, мм	$\beta, ^\circ$	L, м	S, м	C, кПа	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	16,2	6,5	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	1	18,6	5,7	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	2	21,0	5,1	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	3	23,4	4,4	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	4	25,7	3,3	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	5	27,9	2,2	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	6	30,2	1,3	150	25	6,0	2,0	100

Подробнее о работе с нагелями можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Геосинтетика



— **Геосинтетика**: позволяет задавать элементы геосинтетики (недоступно в Lite-версии).

Группа включает в себя следующие инструменты:

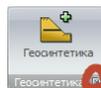


- перейти в режим создания группы слоев геосинтетики при помощи мыши.



- перейти в режим создания одного слоя геосинтетики при помощи мыши.

Кнопка дополнительных свойств



позволяет отобразить таблицу геосинтетических элементов

№	X, м	Y, м	$\beta, ^\circ$	L, м	Rt, кН/м	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	16,5	6,4	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	1	17,9	5,9	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	2	19,4	5,5	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	3	20,8	5,1	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	4	22,3	4,7	0	5,0	30,0

Подробнее о работе с элементами геосинтетики можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Анализ



На вкладке представлены группы кнопок:

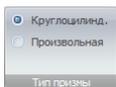
Задача



— **Задача**, позволяет задавать тип решаемой задачи:

- Нахождение коэффициента устойчивости,
- Определение оползневое давление.

Тип призмы



— *Тип призмы*, позволяет выбирать тип призмы:

- Круглоцилиндрическая призма (поверхность скольжения задаётся в группе [Круглоцил. призма](#)),
- Произвольная призма (поверхность скольжения задаётся в группе [Произвольная](#)).

Параметры расчёта

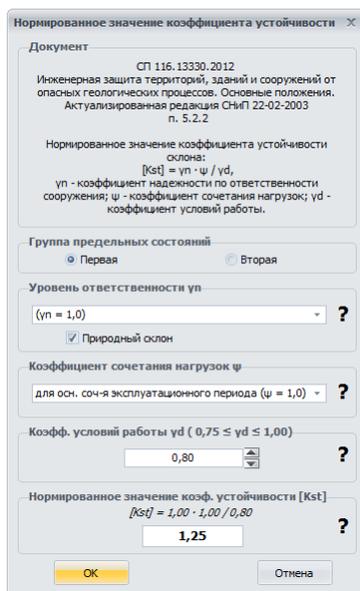


— *Параметры расчёта*, позволяет задавать параметры

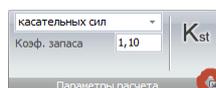
расчёта:

- Метод расчёта (некоторые методы недоступны в Lite-версии):
 1. [Метод Феллениуса](#),
 2. [Метод касательных сил](#),
 3. [Метод Бишопа](#),
 4. [Метод Янбу](#),
 5. [Метод Моргенштерна-Прайса](#),
 6. [Метод Шахунянца](#),
 7. [Метод Спенсера](#).
- Нормированное значение K_u - минимально допустимое значение K_u , которое обеспечивает устойчивость откоса (для задачи - "Нахождение коэффициента устойчивости").
- Коэффициент запаса - значение коэффициента запаса устойчивости, которое используется для расчёта оползневое давления (для задачи - "Нахождение оползневое давления").

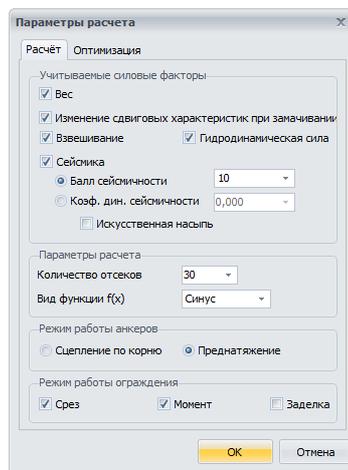
Кнопка  позволяет активизировать окно определения величины нормированного значения коэффициента устойчивости склона в соответствии с СП 116.13330.2012



Кнопка расширенных настроек

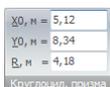


позволяет активизировать окно дополнительных настроек расчёта



Подробнее о выполнении расчёта можно прочитать в [соответствующем разделе](#).

Круглоцилиндрическая призма

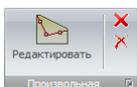


— **Круглоцил. призма**, позволяет задавать поверхность скольжения

круглоцилиндрической призмы:

- Координаты центра окружности,
- Радиус окружности.

Произвольная призма



— **Произвольная призма**, позволяет задавать поверхность скольжения

произвольной призмы в виде ломаной линии.

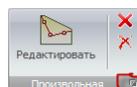
Группа включает в себя следующие инструменты:

 - перейти в режим создания и перемещения узлов поверхности скольжения при помощи мыши,

 - перейти в режим удаления узлов поверхности скольжения геометрии при помощи мыши,

 - удалить все узлы поверхности скольжения.

Кнопка



позволяет отобразить таблицу точек произвольной призмы:

№	X, м	Y, м
0	10,24	13,71
1	13,37	2,58
2	22,45	-4,86
3	28,76	-5,42
4	33,45	-3,48
5	40,74	4,42

Во вспомогательном окне присутствуют кнопки



- добавить новую точку в конец таблицы

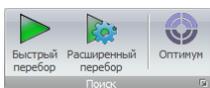


- удалить ВЫБРАННУЮ точку из таблицы



- удалить ВСЕ точки из таблицы

Поиск



— **Поиск**, позволяет выполнять различные виды поиска.

Группа включает в себя следующие инструменты:

 - выполнить быстрый поиск опасной призмы перебором по свободной поверхности с автоматическим выбором параметров,

Примечание:

- данный вид перебора рекомендуется использовать для предварительного определения опасных участков склона с целью их дальнейшего более подробного анализа;
- в результате перебора формируется новый список призм.



- войти в режим поиска с настраиваемыми параметрами,

Примечание:

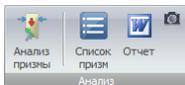
- в результате перебора формируется новый список призм.

-  - выполнить оптимизационный поиск опасной призмы.

Примечание:

- в качестве начального приближения используются параметры текущей призмы.

Анализ

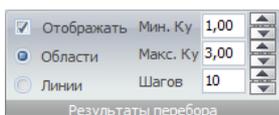


– **Анализ**, позволяет анализировать результаты расчёта.

Группа включает в себя следующие инструменты:

-  - открыть модуль Анализа призмы сдвига,
-  - открыть список призм,
-  - создать отчёт Microsoft Word,
-  - сделать скриншот графической области и сохранить его в файле.

Результаты перебора



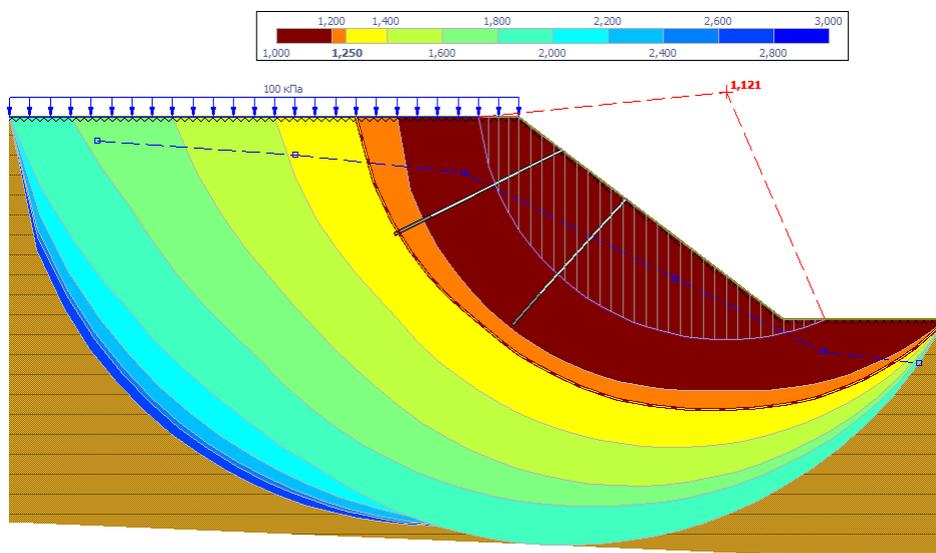
– **Результаты перебора**, позволяет управлять отображением результатов перебора.

При отображении результатов перебора строятся огибающие поверхностей скольжения призм, имеющих коэффициент устойчивости в фиксированном диапазоне.

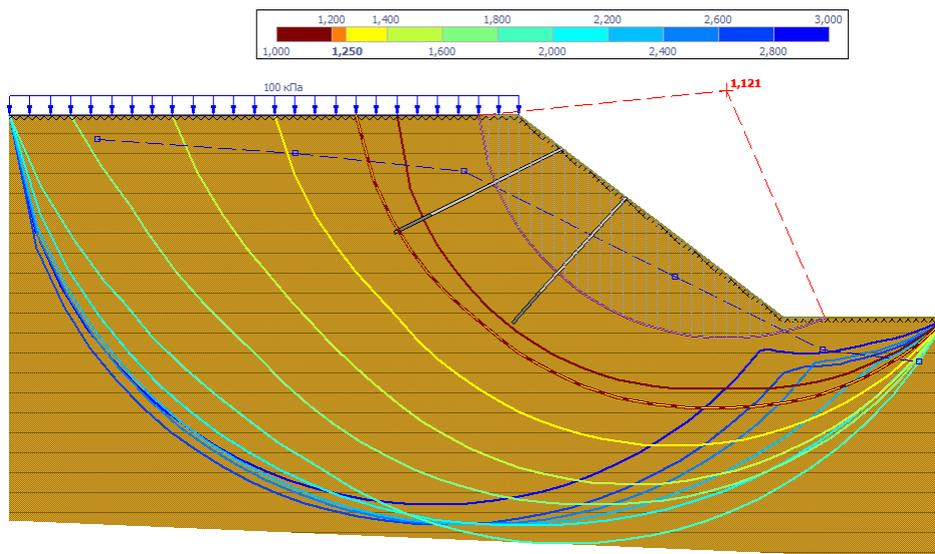
Границы глобального отображаемого диапазона по коэффициенту устойчивости задаются параметрами *Мин.Ку* и *Макс.Ку*. Желаемое количество диапазонов задается параметром *Шагов*.

Возможен один из двух вариантов отображения:

- в форме областей (режим "Области"):



- в форме контуров (режим "Линии"):



Цветовая шкала отображается в верхней части графической области главного окна приложения.

Примечание

Области (контур), сформированные призмами с коэффициентом устойчивости ниже нормированного, отображаются с использованием красных цветов. Граница, соответствующая нормированному коэффициенту устойчивости, отображается штриховой линией.

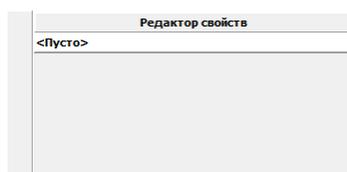
4. Редактор свойств

Редактор свойств позволяет редактировать свойства одного или нескольких выделенных объектов.

В режим редактирования можно перейти:

1. При добавлении объекта.
2. При выделении одного или нескольких объектов.

Пустой редактор свойств выглядит следующим образом:



В зависимости от ситуации редактор содержит либо полный набор полей редактируемого объекта,

Редактор свойств	
Геосинтетика № 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
X, м	8,5
Y, м	7,0
Угол наклона, град	180
Длина, м	4,3
Предельное усилие, кН/м	30,0
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

либо общие поля объектов выделенной группы

Редактор свойств	
Выделено объектов: 3	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
Угол наклона, град	
Шаг в плане, м	2,0
Удельное сцепление, кПа	100,0
Диаметр, мм	
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

Переключатель "Учитывать в расчете" позволяет управлять учетом редактируемых объектов при определении коэффициента устойчивости или оползневое давление.

Кнопка "Удалить" позволяет удалить выделенные объекты.

Кнопка "Применить" обеспечивает применение внесенных изменений к выделенным объектам.

5. Строка состояния

Строка состояния выглядит следующим образом:



Строка состояния содержит:

1. Текущие координаты (координаты, соответствующие положению курсора мыши).

X = 15,00 Y = 10,00

2. Кнопку  для включения привязки к сетке.

3. Кнопки управления масштабом:



- увеличить изображение,



- уменьшить изображение,



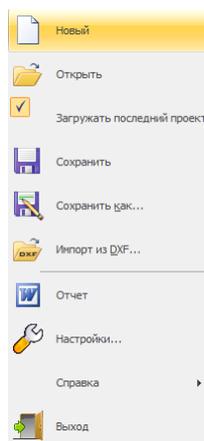
- показать всё.

Базовые операции

1. Управление проектами

Начать новый проект

Новый проект можно создать нажатием кнопки , или аналогичной командой из верхнего меню:

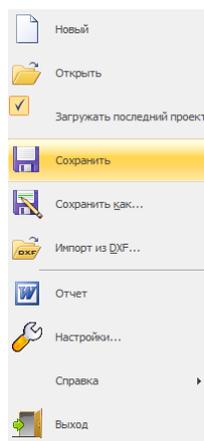


Также можно использовать сочетание клавиш **Ctrl + N**.

Программа создаст новый проект. После окончания работы необходимо будет сохранить проект.

Сохранить проект

Для сохранения проекта можно воспользоваться кнопкой , либо одной из команд верхнего меню:



1. Выбор пункта "Сохранить" обеспечивает сохранение проекта в старый файл.

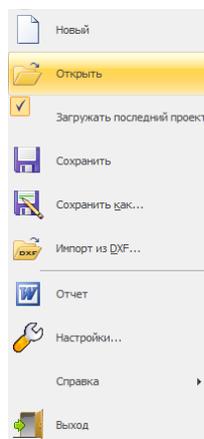
2. Выбор пункта "Сохранить как" обеспечивает сохранение проекта в новый файл. После выполнения этих команды появляется стандартное окно диалога, в котором нужно:

- выбрать папку, в которой находятся ранее созданный проект;
- выделить мышью файл проекта или ввести новое имя;

- выполнить команду "Сохранить".

Загрузить существующий проект

Для продолжения работы в ранее созданном проекте его следует открыть кнопкой , либо командой верхнего меню:

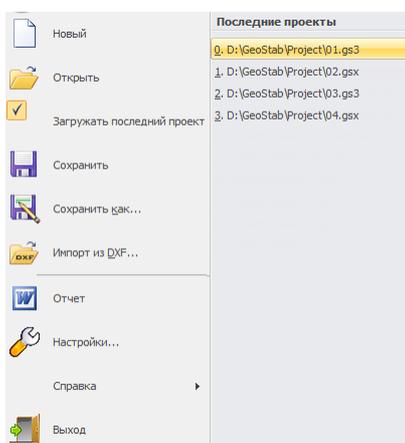


Открыть ранее созданный проект можно нажатием сочетания клавиш Ctrl + O.

После выполнения этих команды появляется стандартное окно диалога, в котором нужно:

- выбрать папку, в которой находятся ранее созданный проект;
- выделить мышью файл проекта;
- выполнить команду "Открыть".

При повторном обращении к программе доступна функция открытия одного из последних проектов:



2. Управление изображением

Масштабирование изображения осуществляется с помощью *колеса* мыши. При этом точка графического поля, находящаяся под указателем мыши, остается неподвижной.

Автоматический подбор параметров отображения достигается двойным щелчком *средней кнопки* мыши в области графического поля.

Перетаскивание отображаемой области графического поля выполняется при нажатой *средней кнопке* мыши.

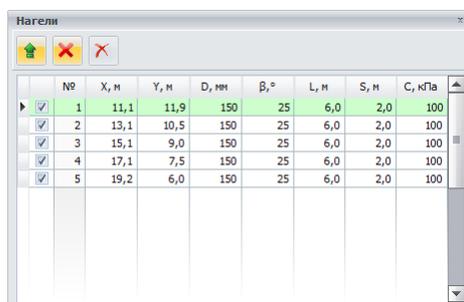
3. Работа с таблицами

Для редактирования таблицы используются следующие кнопки:

	добавить новую запись в конец таблицы
	удалить ВЫБРАННУЮ запись из таблицы
	удалить ВСЕ записи из таблицы

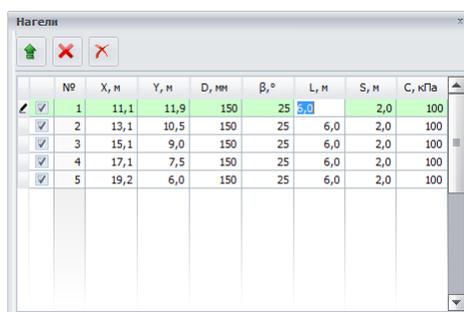
Любая таблица может находиться в двух режимах:

1. Режим просмотра.



№	X, м	Y, м	D, мм	β , °	L, м	S, м	C, кПа
1	11,1	11,9	150	25	6,0	2,0	100
2	13,1	10,5	150	25	6,0	2,0	100
3	15,1	9,0	150	25	6,0	2,0	100
4	17,1	7,5	150	25	6,0	2,0	100
5	19,2	6,0	150	25	6,0	2,0	100

2. Режим редактирования, в котором изменения параметров не применены к объектам модели.



№	X, м	Y, м	D, мм	β , °	L, м	S, м	C, кПа
1	11,1	11,9	150	20	6,0	2,0	100
2	13,1	10,5	150	25	6,0	2,0	100
3	15,1	9,0	150	25	6,0	2,0	100
4	17,1	7,5	150	25	6,0	2,0	100
5	19,2	6,0	150	25	6,0	2,0	100

Подтвердить изменения в таблице можно одним из следующих способов:

- нажать на клавишу ENTER.
- перейти на другую запись в таблице.
- закрыть окно с таблицей.

4. Работа с объектами в графическом поле

Использование сетки

Привязка к сетке облегчает позиционирование точек, создаваемых с помощью мыши в графическом поле. Для включения привязки следует воспользоваться клавишей  [СТРОКИ СОСТОЯНИЯ](#). Привязка к узлу сетки выполняется при перемещении указателя мыши в близкое к нему положение.

Сетка работает в одном из двух режимов:

- адаптивная. В этом случае параметры сетки корректируются при масштабировании изображения и совпадают с шагом размерной сетки на осях.
- фиксированная. В этом случае параметры сетки неизменны и определяются пользователем.

Настроить параметры сетки можно, воспользовавшись кнопкой  панели инструментов.

Выделение объектов

Выделение объектов необходимо при:

- изменении свойств;
- трансформации объектов;
- удалении объектов.

В программе допускается выделение как единичных, так и нескольких объектов.

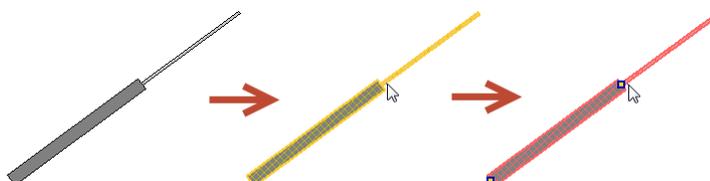
В случае, когда выделен один объект, его свойства становятся доступными для редактирования в инспекторе объектов. В случае выделения нескольких объектов, в инспекторе объектов доступно редактирование их общих характеристик.

Примечание

Категории *объектов, доступных для выделения*, зависят от текущего режима.

Выделение объектов в графической области

Выделение единичного объекта осуществляется щелчком левой кнопки мыши после наведении курсора на нужный объект. При этом все сформированные ранее выделения сбрасываются.



Примечание

Объект, доступный для выделения, подсвечивается при перемещении над ним курсора мыши.

Выделение нескольких объектов можно осуществить:

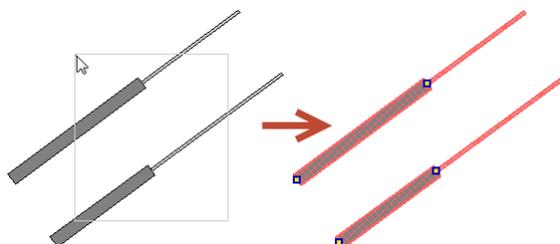
1. Щелчком левой кнопки мыши при удерживаемой клавише *Ctrl* клавиатуры. Повторный щелчок по выделенному объекту при удержании клавиши *Ctrl* приводит к снятию с него выделения.

2. Используя *прямоугольник выделения*. Для формирования области прямоугольника выделения необходимо

- переместить указатель мыши к вершине области выделения;
- нажать левую кнопку мыши;
- растянуть область, перемещая указатель;
- отпустить кнопку мыши.

В случае перемещения указателя *слева-направо* захватываются объекты *полностью* попавшие в прямоугольник выделения

В случае перемещения указателя *справа-налево* захватываются объекты *полностью или частично* попавшие в прямоугольник выделения.



Сброс выделений достигается:

1. Нажатием клавиши *Esc* клавиатуры;
2. Щелчком левой кнопки мыши при положении указателя в пустой области графического поля.

Перемещение объектов

Для перемещения объектов с помощью мыши необходимо:

1. Выделить нужный объект.
2. Переместить указатель мыши к перемещаемому объекту. При этом форма указателя примет следующий вид .
3. Нажать левую кнопку мыши и, не отпуская кнопку, переместить объект в новое

положение.

4. Отпустить кнопку мыши.

Примечание

Операцию можно прервать, нажав клавишу *Esc*.

Примечание

Некоторые объекты не могут быть перемещены с помощью мыши.

Примечание

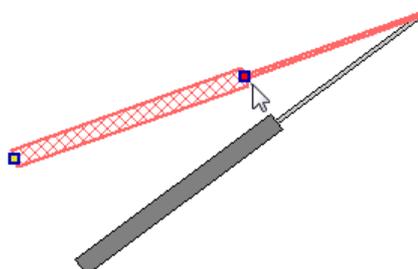
При перетаскивании объектов *Анкер*, *Нагель*, *Элемент геосинтетики* обеспечивается привязка устья объекта к свободной поверхности.

Трансформация объектов

Возможность трансформации объекта определяется наличием маркеров при его выделении.

Для трансформации объекта необходимо:

1. Выделить объект.
2. Переместить указатель мыши к нужному маркеру.
3. Захватить маркер, нажав левую кнопку мыши.
4. Переместить маркер в новое положение при нажатой кнопке мыши.



5. Отпустить кнопку мыши.

Примечание

Операцию можно прервать, нажав клавишу *Esc*.

Примечание

Возможность захвата маркера мышью определяется изменением цвета при приближении к нему указателя.

5. Удаление объектов

К удаляемым объектам относятся: точки, линии, области, узлы депрессионной кривой, сосредоточенные силы, распределённые нагрузки, преграды, ограждения, анкеры, нагели, элементы геосинтетики.

Удалить объект геометрии можно следующими способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами инспектора объектов;
- средствами таблицы редактирования свойств.

Удаление с помощью графического редактора

В режиме навигации

Для удаления объектов необходимо:

- выделить с помощью мыши один или несколько объектов, подлежащих удалению.
- нажать клавишу *Delete* клавиатуры.

В режиме удаления

Для удаления объектов необходимо:

- перейти в режим удаления объектов (кнопка  [на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).
- переместить к удаляемому объекту указатель мыши и нажать левую кнопку мыши (объект, над которым находится курсор, автоматически подсвечивается).

Удаление с помощью инспектора объектов

Для удаления объектов необходимо:

- выделить с помощью мыши один или несколько объектов, подлежащих удалению.
- нажать кнопку *Удалить* окна инспектора объектов.

Удаление средствами редактора таблицы свойств

Для удаления объектов необходимо:

- открыть соответствующую таблицу;
- перейти к удаляемой записи;
- нажать кнопку .

Для удаления всех объектов следует нажать кнопку .

Внимание!

Удаление узловых точек приводит к удалению всех использующих их линий и областей!

6. Построение геометрии сечения склона

Создание областей

Задать области можно двумя способами:

1. Перейти в режим создания областей (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке [Ленты "Исходные данные"](#)).

Данный режим позволяет строить объекты, определяющие геометрию области.

При нажатии левой кнопки мыши создается новая точка с координатами, соответствующими позиции курсора. В случае близости курсора к существующим точкам и линиям выполняется автоматическая привязка, при этом точка привязки предварительно подсвечивается.

Также создать новую точку можно непосредственно введя ее координаты в поля ввода координат (для подтверждения создания точки необходимо нажать клавишу ENTER).

Создаваемые точки последовательно соединяются полилинией. Для перехода к созданию новой полилинии необходимо нажать правую кнопку мыши или клавишу *Esc* на клавиатуре.

При формировании замкнутых контуров автоматически происходит создание областей. Возможно создание только односвязных областей (без "дырок").

Если создаваемая линия пересекает существующие линии или области, то она автоматически разбивает их на части.

Для удобства задания узловых точек с помощью мыши в программе существует возможность привязки к узлам вспомогательной равномерной сетки. Привязка к сетке активируется кнопкой  в [Строке состояния](#).

Также вместо мыши можно воспользоваться полями ввода координат в [Строке состояния](#) - ввести координаты новой точки и нажать на ENTER.

2. [Импортировать геометрию](#) из файла DXF (пункт  "Импорт из DXF..." в [Основном меню](#)).

Перемещение узловых точек

Переместить точку можно двумя способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы.

Задание с помощью графического редактора

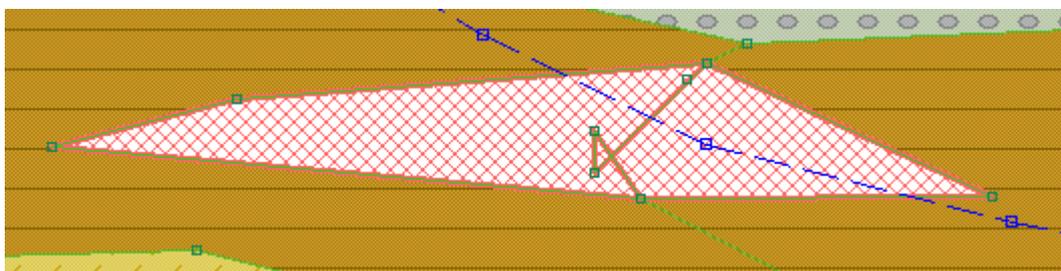
Предварительно необходимо перейти в режим перемещения точек (кнопка  в группе ["Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)). Переместить курсор к точке и после появления подсветки переместить узел в новое положение, удерживая нажатой левую кнопку мыши.

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  в группе ["Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#).

Примечание

В результате перемещения точек возможно формирование областей с некорректной геометрией (самопересекающиеся границы, наложение областей). Программа отображает такие области прозрачными с красной штриховкой.



Редактирование списка точек

Редактирование точек осуществляется в таблице точек (кнопка  в группе ["Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

№	X, м	Y, м
1	5,81	11,75
2	7,69	10,21
3	9,06	9,56
4	11,27	8,97
5	13,36	7,87
6	14,12	7,24
7	17,54	6,05
8	19,48	5,46
9	23,40	4,43
10	27,01	2,64
11	30,91	0,96
12	39,21	-1,22

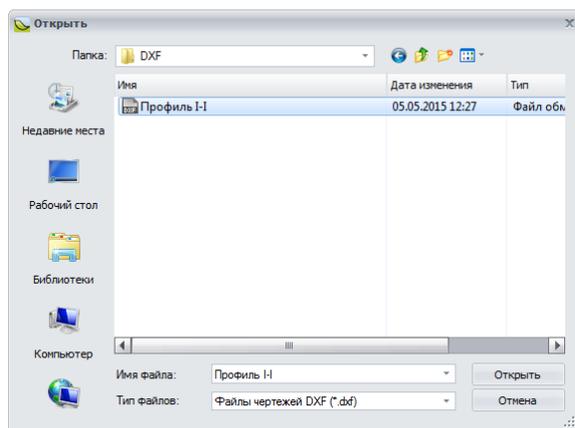
В таблице используются следующие обозначения:

№	номер точки
X	X-координата точки, [м]
Y	Y-координата точки, [м]

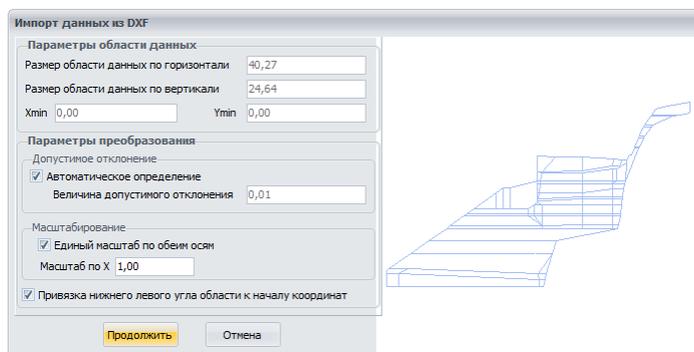
Импорт геометрии из файлов DXF

Для импорта геометрии из файла DXF необходимо:

1. Активизировать пункт  "Импорт из DXF..." [Основного меню](#).
2. В появившемся окне выбрать нужный файл и нажать кнопку "Открыть".



3. При необходимости изменить настройки импорта и нажать кнопку "Продолжить".
Импортируемые геометрические объекты схематически отображаются в окне предпросмотра.



Параметры области данных

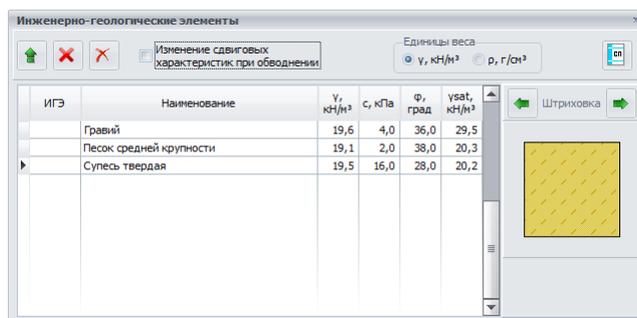
<i>Размеры области по горизонтали и вертикали</i>	ширина и высота прямоугольной области, включающей импортируемые линии. Параметры определяются в размерных единицах чертежа DXF
<i>Xmin, Ymin</i>	координаты левого нижнего угла области. Параметры определяются в размерных единицах чертежа DXF

Параметры преобразования

<i>Допустимое отклонение</i>	минимальное допустимое расстояние между узловыми точками в метрах. В случае, если узлы расположены ближе, происходит их слияние
<i>Масштабные коэффициенты</i>	множители, используемые при переводе координат из размерных единиц чертежа DXF в метры
<i>Привязка нижнего левого угла области к началу координат</i>	Смещение импортируемых объектов таким образом, чтобы нижняя левая точка области, включающей импортируемые линии, переместилась в точку с координатами (0,0)

7. Определение свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ)

Свойства инженерно-геологических элементов (ИГЭ) задаются в таблице грунтов (кнопка  в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные").



Переключатель "Единицы веса" используется для выбора одного из двух вариантов определения весовых характеристик грунта:

$\gamma, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$	задание удельного веса грунта
$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	задание плотности грунта

Для редактирования таблицы используются следующие кнопки:

	добавить новый грунт в конец таблицы
	удалить ВЫБРАННЫЙ грунт из таблицы
	удалить ВСЕ грунты из таблицы
	открыть справочник грунтов, основанный на СП 22.13330.2011
	выбрать предыдущую штриховку для выбранного грунта
	выбрать следующую штриховку для выбранного грунта

В таблице используются следующие обозначения:

<i>ИГЭ</i>	название ИГЭ
<i>Наименование</i>	наименование грунта
γ	удельный вес грунта при природной влажности, [кН/м ³]
ρ	плотность грунта при природной влажности, [г/см ³]
c	удельное сцепление грунта при природной влажности, [кПа]
φ	угол внутреннего трения при природной влажности, [град]
<i>γ_{sat}</i>	удельный вес грунта при полном водонасыщении, [кН/м ³]
<i>ρ_{sat}</i>	плотность грунта при полном водонасыщении, [г/см ³]
<i>c_{sat}</i>	удельное сцепление грунта при замачивании, [кПа]
<i>φ_{sat}</i>	угол внутреннего трения при замачивании, [град]

Примечание 1

В случае, когда влияние грунтовых вод не учитывается, задание характеристик *γ_{sat}* , *c_{sat}* , *φ_{sat}* необязательно.

Примечание 2

Настройка "Изменение сдвиговых характеристик при замачивании" также может быть задана в окне [Настроек параметров расчёта](#).

Примечание 3

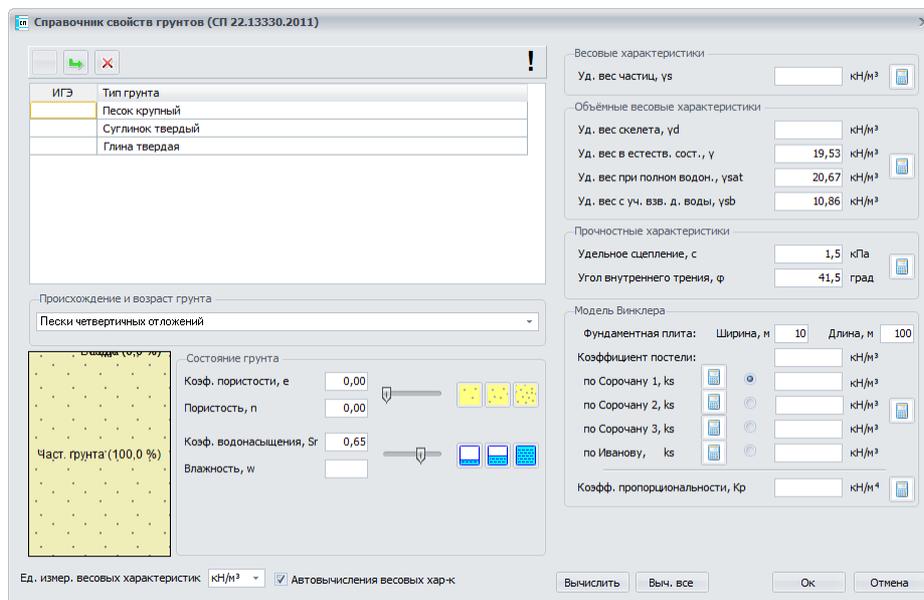
Настройка "Единицы веса" позволяет определять для грунта либо удельный вес, либо плотность.

Использование справочника

В случае, когда данные о геологических изысканиях не полные или отсутствуют, можно воспользоваться справочником характеристик грунта, основанным на приложениях к СП

22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Справочник позволяет задавать названия грунтов, по которым программа автоматически определяет тип штриховки.



В окне Справочника грунтов необходимо сначала выбрать тип грунта путем нажатия мышкой на соответствующее поле таблицы и из выпадающего меню выбрать необходимый тип грунта.

Далее надо выбрать происхождение грунта.

Затем следует задать в соответствующих полях коэффициент пористости и степень влажности, либо воспользоваться кнопками расположенными рядом с этими полями.

После этого можно нажать на кнопки с изображениями калькулятора и программа автоматически рассчитает и заполнит оставшиеся данные.

При необходимости некоторые данные можно заполнить вручную, а последующие данные вычислить автоматически.

Кроме того, в случае полного отсутствия данных, включая коэффициент пористости и коэффициент водонасыщения, имеется возможность принять усредненные значения характеристик путем нажатия кнопки Вычислить.

Примечание: коэффициент пористости и пористость взаимосвязаны, коэффициент водонасыщения и влажность - тоже (перевычисление требует величину удельного веса частиц).

Назначение полигонам характеристик ИГЭ

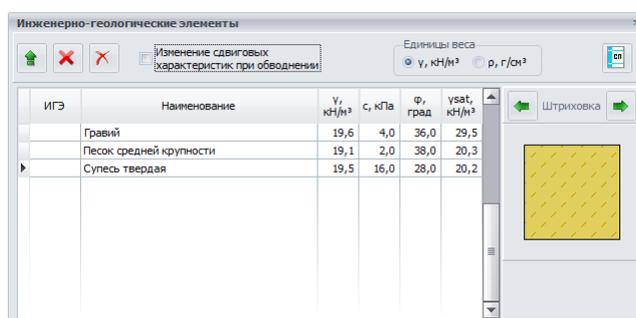
Выполнить привязку ИГЭ к областям геометрии и редактировать характеристики ИГЭ можно в одном из трех режимов:

- режим "Грунты";
- режим "Области";
- режим "Области без ИГЭ".

Режим "Грунты"

Активизация режима выполняется с помощью кнопки  [в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#).

Для того чтобы назначить физико-механические характеристики области, нужно в окне "Инженерно-геологические элементы" выбрать требуемый ИГЭ.

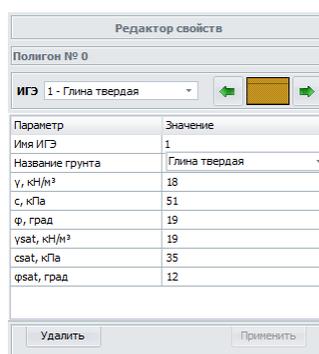


Далее следует выполнить привязку выбранного ИГЭ с помощью щелчка левой кнопки мыши, предварительно переместив указатель в области на графическом поле (область, в которой находится курсор, автоматически подсвечивается).

Режим "ИГЭ областей"

Активизация режима выполняется с помощью кнопки  [в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#).

Указав область щелчком левой кнопки мыши, можно средствами инспектора объектов осуществить выбор ИГЭ.



Также в окне инспектора объектов возможно:

- изменение характеристик грунта;
- изменение штриховки;
- создание нового ИГЭ.

Возможно одновременное [выделение нескольких](#) областей. В этом случае вносимые изменения применяются ко всем областям.

Режим "Области без ИГЭ"

Данный режим удобно использовать при необходимости обнаружить области малой площади с целью привязки к ним ИГЭ.

При активизации режима области без ИГЭ отмечаются цветом.

Активизация режима выполняется с помощью кнопки  в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные".

Выбор области выполняется щелчком левой кнопки мыши. Характеристики ИГЭ редактируются средствами инспектора объектов.

8. Задание депрессионной кривой

Задание депрессионной кривой необходимо для учета действия грунтовых вод. Грунты, лежащие ниже кривой, полагаются обводненными.

Информация о геометрии депрессионной кривой формируется в виде последовательности координат опорных точек. На графическом поле кривая депрессии отображается пунктирной синей линией.

Депрессионная кривая может быть задана двумя способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы.

Задание с помощью графического редактора

Для добавления узлов депрессионной кривой при помощи мыши нужно перейти в режим добавления узлов депрессионной кривой (кнопка  в группе "Вода" на вкладке Ленты "Исходные данные"), затем на графическом поле, нажимая левую кнопку мыши в нужных точках, поставить узлы депрессионной кривой.

Также создать новую точку можно непосредственно введя ее координаты в поля ввода координат $X, м =$ $Y, м =$ (для подтверждения создания точки необходимо нажать клавишу ENTER).

В данном режиме также возможно *перемещение* существующих узловых точек депрессионной кривой. Для этого необходимо переместить курсор мыши к нужному узлу. После появления маркера нажать левую кнопку мыши и, удерживая ее, переместить узел в новое положение.

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  в группе "Вода" на вкладке Ленты "Исходные данные".

№	X, м	Y, м
0	-0,24	9,26
1	8,24	7,43
2	13,39	5,07
3	20,32	1,57
4	23,26	0,92
5	26,73	-0,19
6	33,20	-2,37
7	40,14	-6,80
8	49,04	-9,41

В таблице используются следующие обозначения:

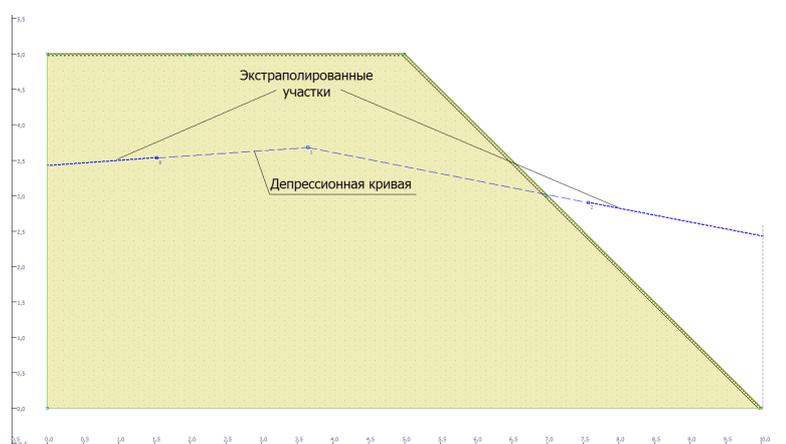
№	номер точки
X	X-координата точки, [м]
Y	Y-координата точки, [м]

Примечание 1

Опорные точки депрессионной кривой не связаны с геометрическими узлами (таблица "Точки").

Примечание 2

Депрессионная кривая автоматически экстраполируется до границ расчетной области отрезками прямых.



9. Задание нагрузок

Для учета дополнительных воздействий предусмотрено задание следующих видов нагрузок:

- сосредоточенные силы;
- распределённые нагрузки.

Задание сосредоточенных сил

Сосредоточенные силы могут быть заданы двумя способами:

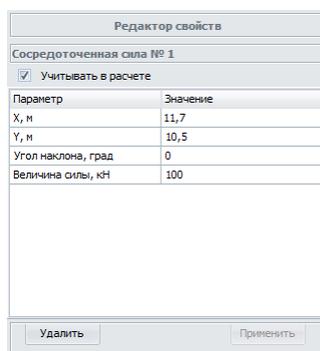
- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы.

Задание с помощью графического редактора

Предварительно необходимо перейти в режим работы с сосредоточенными силами (кнопка  в группе "Силы" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Для добавления объекта необходимо выполнить щелчок левой кнопкой мыши в точке приложения нагрузки.

Параметры сосредоточенной силы можно изменить в инспекторе объектов.



Редактор свойств

Сосредоточенная сила № 1

Учитывать в расчете

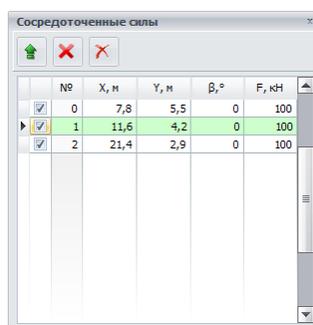
Параметр	Значение
X, м	11,7
Y, м	10,5
Угол наклона, град	0
Величина силы, кН	100

Удалить Применить

Для редактирования свойств существующего объекта необходимо переместить к нему курсор мыши. После появления подсветки выполнить щелчок левой кнопкой мыши и изменить параметры в инспекторе объектов. Также можно переместить объект при удерживаемой левой кнопке мыши.

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  в группе "Силы" на вкладке Ленты "Исходные данные".



№	X, м	Y, м	$\beta, ^\circ$	F, кН	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	7,8	5,5	0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	1	11,6	4,2	0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	2	21,4	2,9	0	100

В таблице используются следующие обозначения:

<i>N</i>	номер сосредоточенной силы
<i>X</i>	X - координата точки приложения силы, [м]
<i>Y</i>	Y - координата точки приложения силы, [м]
φ	угол относительно вертикали, [°]
<i>F</i>	величина силы, [кН]

Примечание 1

Угол, определяющий направление действия силы определяется как угол между вертикальным вектором направленным вниз и направлением сосредоточенной силы. Угол отсчитывается против часовой стрелки. Для весовых нагрузок угол равен нулю градусов.

Примечание 2

Чтобы привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

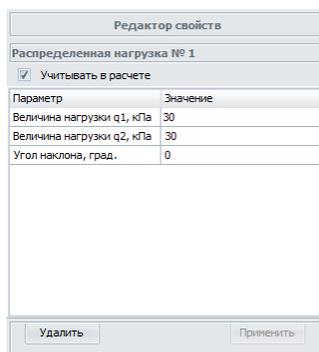
Задание распределённых нагрузок

Распределенные нагрузки прикладываются на существующие линии.

В случае, когда линия длиннее предполагаемой области действия нагрузки, ее (линию) необходимо разбить на части, перейдя в режим [Создание областей](#).

Для добавления распределённой нагрузки необходимо перейти в соответствующий режим (кнопка  в группе "Нагрузки" на вкладке Ленты "Исходные данные"), затем нажать левую кнопку мыши на линии, к которой должна быть приложена нагрузка. Выбранная линия подсвечивается при перемещении над ней указателя мыши.

Величину нагрузки и её направление можно задать в инспекторе объектов.



Редактор свойств	
Распределенная нагрузка № 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
Величина нагрузки q1, кПа	30
Величина нагрузки q2, кПа	30
Угол наклона, град.	0
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

Также отредактировать параметры распределённой нагрузки можно в таблице (кнопка  в группе "Нагрузки" на вкладке Ленты "Исходные данные").

№	№ линии	q1, кПа	q2, кПа	β, °	X1, м	X2, м	Y1, м	Y2, м
0	3	30	30	0	9,1	11,3	9,6	9,0
1	6	30	30	0	14,1	17,5	7,2	6,1
2	0	30	30	0	2,3	5,8	13,0	11,8

В таблице используются следующие обозначения:

№	номер распределённой нагрузки
№ линии	номер линии, к которой приложена нагрузка
q1, q2	значение распределённой нагрузки в первой и второй точке соответственно, [кПа]
φ	угол относительно вертикали, [°]
X1, Y1	координаты первой точки приложения нагрузки, [м]
X2, Y2	координаты второй точки приложения нагрузки, [м]

Примечание 1

Угол, определяющий направление действия нагрузки определяется как угол между вертикальным вектором направленным вниз и направлением нагрузки. Угол отсчитывается против часовой стрелки. Для весовых нагрузок угол равен нулю градусов.

Примечание 2

Номер линии -1 означает, что нагрузка приложена не к линии, а непосредственно по координатам. Это устаревшее задание нагрузки. Оно используется только в проектах, созданных в ранних версиях GeoStab.

При необходимости можно использовать Справочник нагрузок. Запуск справочника осуществляется с помощью кнопки  окна таблицы нагрузок.

10. Задание преград

Преграды - это неразрушаемые линейные объекты, обеспечивающие невозможность создания пересекающих их поверхностей скольжения. Ограничения на положение и ориентацию преград отсутствуют.

Преграды могут быть заданы двумя способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы.

Задание с помощью графического редактора

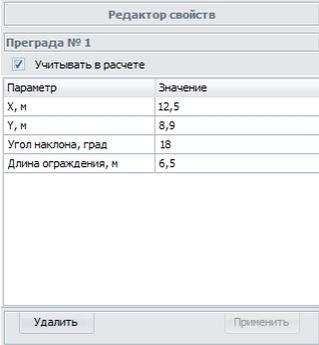
Предварительно необходимо перейти в режим работы с преградами (кнопка  [в группе "Преграды" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Для добавления преграды необходимо:

- выполнить щелчок левой кнопкой мыши в первой точке преграды;
- переместить указатель мыши ко второй точке;
- повторно выполнить щелчок левой кнопкой мыши.

Созданный объект автоматически выделяется.

Для редактирования свойств существующей преграды необходимо переместить курсор к нужному объекту. После появления подсветки выполнить щелчок левой кнопкой мыши и изменить параметры в инспекторе объектов.



Параметр	Значение
X, м	12,5
Y, м	8,9
Угол наклона, град	18
Длина ограждения, м	6,5

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  [в группе "Преграды" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

№	X, м	Y, м	β, °	L, м
0	9,2	10,3	16	8,8
1	24,2	9,4	355	15,4
2	30,6	0,1	181	4,0

В таблице используются следующие обозначения:

№	номер объекта
X	X - координата первой точки, [м]
Y	Y - координата первой точки, [м]
φ	угол относительно вертикали, [°]
L	длина, [м]

Примечание 1

Угол наклона преграды определяется как угол между вертикальным вектором направленным вниз и вектором, соединяющим верх и низ преграды. Угол отсчитывается против часовой стрелки.

Примечание 2

Чтобы привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

11. Задание ограждений

Ограждения - это разрушаемые строго вертикальные линейные объекты.

Ограждения могут быть заданы двумя способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы ограждений.

Задание с помощью графического редактора

Предварительно необходимо перейти в режим работы с ограждениями (кнопка  в [группе "Ограждения" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Для добавления ограждения необходимо:

- выполнить щелчок левой кнопкой мыши в первой точке ограждения;
- переместить указатель мыши ко второй точке;

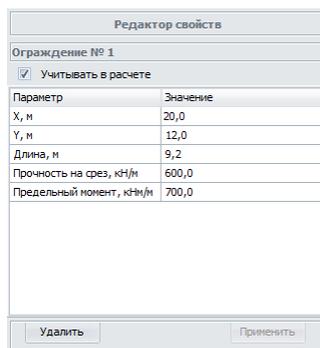
- повторно выполнить щелчок левой кнопкой мыши.

Созданный объект автоматически выделяется.

Примечание

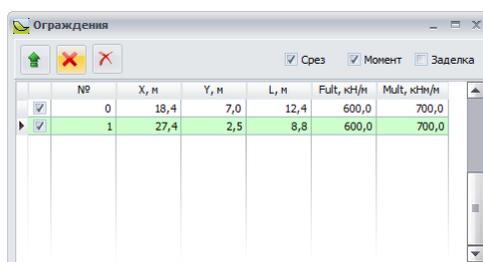
Чтобы привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

Для редактирования свойств существующего ограждения необходимо переместить курсор к нужному объекту. После появления подсветки выполнить щелчок левой кнопкой мыши и изменить параметры в инспекторе объектов.



Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  в группе "Ограждения" на вкладке [Ленты "Исходные данные"](#).



В таблице используются следующие обозначения:

<i>№</i>	номер объекта
<i>X</i>	X - координата верхней точки, [м]
<i>Y</i>	Y - координата верхней точки, [м]
<i>L</i>	длина ограждения, [м]
<i>Fult</i>	предельное сдвигающее усилие, [кН/м]
<i>Mult</i>	предельный момент, [кНм/м]

Факторы, учитываемые в расчете :

Срез	Разрушение ограждения в результате среза
Момент	Разрушение ограждения в результате изгиба
Заделка	Потеря устойчивости заделки

Примечание

Изменение набора расчетных факторов применяется ко всем ограждениям.

Примечание

В случае, когда нижняя точка ограждения выходит за границы области склона, и включено сопротивление по заделке, влияние ограждения на опелзневый процесс не учитывается.

12. Задание анкеров и нагелей

Создание анкера

Анкеры могут быть заданы двумя способами:

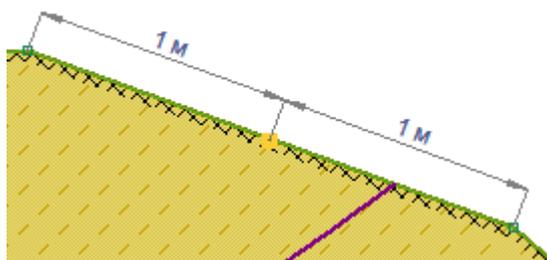
- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы ограждений.

Задание с помощью графического редактора

Предварительно необходимо перейти в режим создания анкеров (кнопка  [в группе "Анкеры" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Для добавления анкера:

1. Определите точку устья, перемещая курсор мыши. Программа отображает соответствующую точку на свободной поверхности.

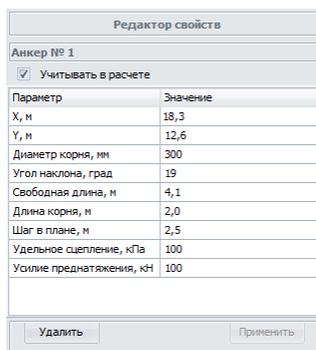


2. Выполните щелчок левой кнопкой мыши для фиксирования точки устья.

3. Переместите указатель мыши в точку, соответствующую началу корня.

4. Выполните щелчок левой кнопкой мыши для фиксирования объекта.

5. При необходимости скорректируйте параметры созданного анкера в инспекторе объектов.



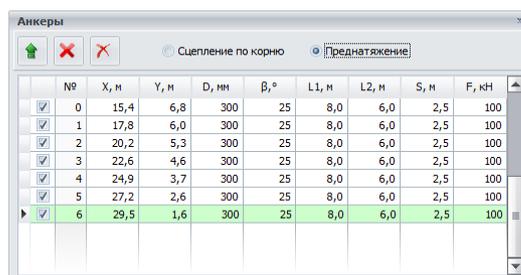
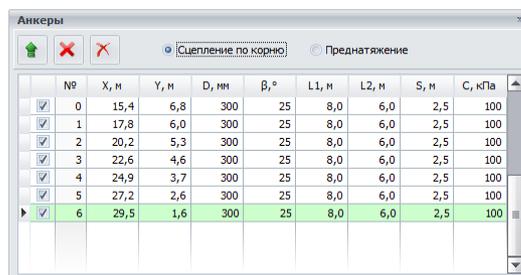
Для редактирования свойств существующего анкера необходимо **выделить** нужный объект и изменить его параметры в инспекторе объектов.

Примечание

При создании и перемещении объекта с помощью мыши устье анкера автоматически привязывается к свободной поверхности.

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  в группе "Анкеры" на вкладке Ленты "Исходные данные".



Режимы работы анкеров (применяется для всех анкеров схемы):

<i>Сцепление по корню</i>	При расчете учитывается сопротивление корня анкера
<i>Преднатяжение</i>	При расчете учитывается усилие преднатяжения

В таблице используются следующие обозначения:

<i>N</i>	номер анкера
<i>X</i>	X - координата точки крепления, [м]
<i>Y</i>	Y - координата точки крепления, [м]
<i>D</i>	диаметр корня, [мм]
φ	угол установки анкера к горизонту, [°]
<i>L1</i>	длина тяги, [м]
<i>L2</i>	длина корня, [м]
<i>S</i>	шаг установки (в плане), [м]
<i>C</i>	удельное сцепление грунта, [кПа]
<i>F</i>	усилие преднатяжения, [кН]

Примечание 1

Угол установки анкера определяется как угол между горизонтальным вектором направленным влево и вектором, соединяющим точку крепления и конец корня анкера. Угол отсчитывается против часовой стрелки.

Примечание 2

Чтобы при создании привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке СОСТОЯНИЯ](#).

Примечание 3

В зависимости от режима учёта работы анкеров необходимо задавать или удельные сцепления, или усилия преднатяжения.

Примечание 4

Режим учёта работы анкеров можно поменять также в [Настройках расчёта](#).

Создание группы анкеров

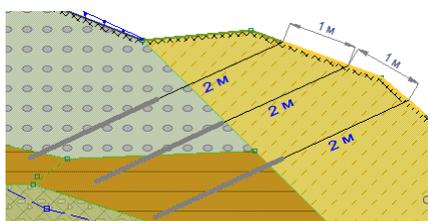
Для создания группы анкеров предварительно необходимо перейти в соответствующий режим (кнопка  в группе "Анкеры" на вкладке Ленты "Исходные данные").

В данном режиме возможно создание группы анкеров с постоянным шагом по свободной поверхности.

Величина шага по свободной поверхности задается в поле ввода Шаг по поверхности, м (появляется при включении режима). Для подтверждения ввода необходимо нажать кнопку ENTER.

Для создания группы анкеров необходимо:

1. определить точку устья первого анкера, переместив в нужное положение указатель мыши (при движении указателя программа отображает точку на свободной поверхности);
2. выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате будет создан первый анкер группы;
3. переместить указатель мыши (при отпущенной левой кнопке) к точке устья последнего анкера группы. В процессе перемещения последовательно будут создаваться последующие анкера группы. При движении указателя программа также подсвечивает использованный участок свободной поверхности;



4. выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате создание группы анкеров будет завершено;
5. при необходимости скорректировать параметры анкеров в инспекторе объектов.

Редактор свойств	
Выделено объектов: 3	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
Угол наклона, град	25
Свободная длина, м	2,0
Длина корня, м	2,0
Шаг в плане, м	2,5
Удельное сцепление, кПа	100,0
Усилие преднатяжения, кН	100,0
Диаметр, мм	300
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

Примечание 1

Операцию можно прервать, воспользовавшись кнопкой *Esc*.

Примечание 2

Шаг по свободной поверхности можно скорректировать в процессе создания группы.

Создание нагеля

Нагели могут быть заданы двумя способами:

- с помощью графического редактора;
- средствами таблицы ограждений.

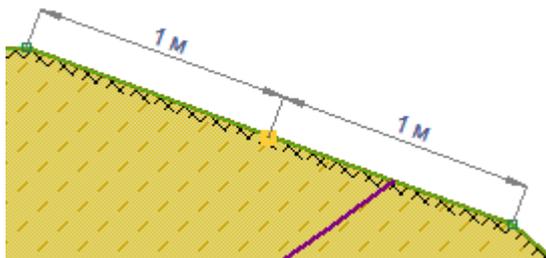
Задание с помощью графического редактора

Предварительно необходимо перейти в режим создания нагелей (кнопка  [в_группе](#)

["Нагели" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Для добавления нагеля:

1. Определите точку устья, перемещая курсор мыши. Программа отображает соответствующую точку на свободной поверхности.



2. Выполните щелчок левой кнопкой мыши для фиксирования точки устья.

3. Переместите указатель мыши в точку, соответствующую второй точке нагеля.

4. Выполните щелчок левой кнопкой мыши для фиксирования объекта.

5. При необходимости скорректируйте параметры созданного нагеля в инспекторе объектов.

Редактор свойств	
Нагель № 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
X, м	16,9
Y, м	11,0
Диаметр, мм	150
Угол наклона, град	17
Длина, м	7,7
Шаг в плане, м	2,0
Удельное сцепление, кПа	100

Удалить Применить

Для редактирования свойств существующего анкера необходимо [выделить](#) нужный объект и изменить его параметры в инспекторе объектов.

Примечание

При создании и перемещении объекта с помощью мыши устье нагеля автоматически привязывается к свободной поверхности.

Редактирование таблицы

Для перехода в данный режим используется кнопка  [в группе "Нагели" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#).

№	X, м	Y, м	D, мм	β , °	L, м	S, м	C, кПа	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	16,2	6,5	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	1	18,6	5,7	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	2	21,0	5,1	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	3	23,4	4,4	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	4	25,7	3,3	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	5	27,9	2,2	150	25	6,0	2,0	100
<input checked="" type="checkbox"/>	6	30,2	1,3	150	25	6,0	2,0	100

В таблице используются следующие обозначения:

№	номер нагеля
X	X - координата точки крепления, [м]
Y	Y - координата точки крепления, [м]
D	диаметр, [мм]
φ	угол установки нагеля к горизонту, [°]
L	длина, [м]
S	шаг установки (в плане), [м]
C	удельное сцепление грунта, [кПа]

Примечание 1

Угол установки нагеля определяется как угол между горизонтальным вектором направленным влево и вектором, соединяющим точку крепления и конец нагеля. Угол отсчитывается против часовой стрелки.

Примечание 2

Чтобы привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

Создание группы нагелей

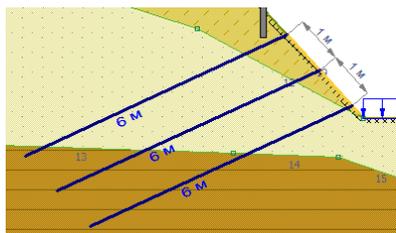
Для создания группы анкеров предварительно необходимо перейти в соответствующий режим (кнопка  в группе "Нагели" на вкладке Ленты "Исходные данные").

В данном режиме возможно создание группы анкеров с постоянным шагом по свободной поверхности.

Величина шага по свободной поверхности задается в поле ввода **Шаг по поверхности, м** (появляется при включении режима). Для подтверждения ввода необходимо нажать кнопку ENTER.

Для создания группы нагелей необходимо:

- определить точку устья первого нагелей, переместив в нужное положение указатель мыши (при движении указателя программа отображает точку на свободной поверхности);
- выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате будет создан первый нагель группы;
- переместить указатель мыши (при отпущенной левой кнопке) к точке устья последнего нагелей группы. В процессе перемещения последовательно будут создаваться последующие нагели группы. При движении указателя программа также подсвечивает использованный участок свободной поверхности;



- выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате создание группы нагелей будет завершено;
- при необходимости скорректировать параметры нагелей в инспекторе объектов.

Редактор свойств	
Выделено объектов: 4	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
Угол наклона, град	25
Длина, м	6,0
Шаг в плане, м	2,0
Удельное сцепление, кПа	100,0
Диаметр, мм	150
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

Примечание 1

Операцию можно прервать, воспользовавшись кнопкой Esc.

Примечание 2

Шаг по свободной поверхности можно скорректировать в процессе создания группы.

13. Задание геосинтетических армирующих элементов

Создание геосинтетического армирующего элемента

Геосинтетические армирующие элементы могут быть заданы двумя способами:

1. Задание с помощью мыши.

Предварительно необходимо перейти в режим создания элементов геосинтетики (кнопка  [в группе "Геосинтетика" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

1.1. Для добавления геосинтетического армирующего элемента необходимо:

- определить точку выхода на свободную поверхность, перемещая курсор мыши (положение точки автоматически подсвечивается).
- выполнить щелчок левой кнопкой мыши, фиксируя первую точку;
- переместить указатель мыши, определяя длину и угол наклона элемента;
- повторно выполнить щелчок левой кнопкой мыши, фиксируя вторую точку.

После создания объект автоматически выделяется. При необходимости можно скорректировать параметры созданного объекта в инспекторе, [трансформировать](#) или [переместить](#) объект.

Редактор свойств	
Геосинтетика № 1	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
X, м	8,5
Y, м	7,0
Угол наклона, град	180
Длина, м	4,3
Предельное усилие, кН/м	30,0
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

1.2. Для редактирования свойств существующего элемента необходимо [выделить](#) нужный объект и изменить его параметры в инспекторе.

Примечание

При создании и перемещении объекта с помощью мыши устье геосинтетического элемента автоматически привязывается к свободной поверхности.

2. Редактирование таблицы геосинтетики (кнопка  в группе "Геосинтетика" на вкладке Ленты "Исходные данные").

№	X, м	Y, м	$\beta, ^\circ$	L, м	Rt, кН/м	
<input checked="" type="checkbox"/>	0	16,5	6,4	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	1	17,9	5,9	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	2	19,4	5,5	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	3	20,8	5,1	0	5,0	30,0
<input checked="" type="checkbox"/>	4	22,3	4,7	0	5,0	30,0

Для редактирования таблицы используются следующие кнопки:

	добавить новый элемент в конец таблицы
	удалить ВЫБРАННЫЙ элемент из таблицы
	удалить ВСЕ элементы из таблицы

В таблице используются следующие обозначения:

$N\circ$	номер элемента
X	X - координата точки выхода на свободную поверхность, [м]
Y	Y - координата точки выхода на свободную поверхность, [м]
β	угол установки элемента к горизонту относительно горизонтали, [°]
L	длина, [м]
Rt	предельное усилие на разрыв, [кН/м]

Примечание

Чтобы при создании привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

Создание группы геосинтетических армирующих элементов

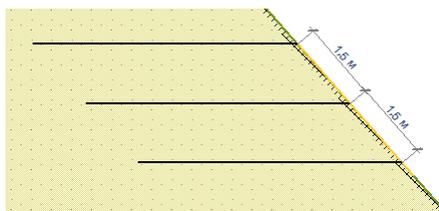
Для создания группы геосинтетических элементов предварительно необходимо перейти в соответствующий режим (кнопка  в группе "Геосинтетика" на вкладке Ленты "Исходные данные").

В данном режиме возможно создание группы геосинтетических элементов с постоянным шагом по свободной поверхности.

Величина шага по свободной поверхности задается в поле ввода Шаг по поверхности, м (появляется при включении режима). Для подтверждения ввода необходимо нажать кнопку ENTER.

Для создания группы геосинтетических элементов необходимо:

1. определить точку устья первого элемента, переместив в нужное положение указатель мыши (при движении указателя программа отображает точку на свободной поверхности);
2. выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате будет создан первый элемент группы;
3. переместить указатель мыши (при отпущенной левой кнопке) к точке устья последнего элемента группы. В процессе перемещения последовательно будут создаваться последующие элементы группы. При движении указателя программа также подсвечивает использованный участок свободной поверхности;



4. выполнить щелчок левой кнопкой мыши. В результате создание группы геосинтетических элементов будет завершено;

5. при необходимости скорректировать параметры геосинтетических элементов в инспекторе объектов.

Редактор свойств	
Выделено объектов: 3	
<input checked="" type="checkbox"/> Учитывать в расчете	
Параметр	Значение
Угол наклона, град	360
Длина, м	5,0
Предельное усилие, кН/м	30,0
<input type="button" value="Удалить"/> <input type="button" value="Применить"/>	

Примечание 1

Операцию можно прервать, воспользовавшись кнопкой *Esc*.

Примечание 2

Шаг по свободной поверхности можно скорректировать в процессе создания группы.

14. Выполнение расчётов

Настройка параметров расчета

1. Задача ([группа "Задача" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

- Вычисление коэффициента устойчивости,
- Вычисление оползневое давления.

2. Тип призмы ([группа "Тип призмы" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

- Круглоцилиндрическая,
- Произвольная.

3. Метод расчёта ([группа "Параметры расчёта" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

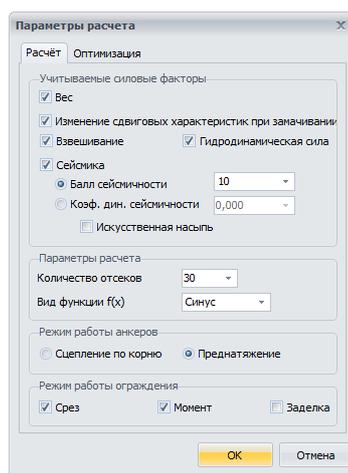
- Феллениуса (только для круглоцилиндрической призмы),
- касательных сил,
- Бишопа (только для круглоцилиндрической призмы),
- Янбу,
- Моргенштерна-Прайса,

- Шахунянца,
- Спенсера.

4. Нормированное значение коэффициента запаса ([группа "Параметры расчёта" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

5. Дополнительные настройки (кнопка  в группе "Расчёт" на вкладке Ленты "Анализ")

5.1 Вкладка "Расчёт" окна дополнительных настроек параметров расчёта выглядит следующим образом:



Все настройки на вкладке делятся на две группы:

1. Учитываемые силовые факторы.

<i>Вес</i>	вес грунта
<i>Изменение сдвиговых характеристик при замачивании</i>	если данная опция включена, то удельный вес и угол внутреннего трения обводнённого грунта (грунта под депрессионной кривой) станут соответственно равны $csat$ и φsat , если выключена, то c и φ (характеристики необводнённого грунта)
<i>Взвешивание</i>	если данная опция включена, то удельный вес обводнённого грунта (грунта под депрессионной кривой) равен $\gamma sat - \gamma w$ (где γw - удельный вес воды 9.81 кН/м^3), если выключена, то γsat
<i>Гидродинамическая сила</i>	гидродинамическая сила
<i>Сейсмика</i>	сейсмическая сила величину сейсмической силы можно определить или задавая балл сейсмичности, или непосредственно определяя коэффициент динамической сейсмичности. Величина коэффициента динамической сейсмичности может быть выбрана из выпадающего списка, или непосредственно введена пользователем.
<i>Искусственная насыпь</i>	если данная опция включена, то сейсмика рассчитывается для искусственной насыпи (см. Учёт сейсмики)

2. Параметры расчёта.

<i>Количество отсеков</i>	количество отсеков, на которое будет разбита призма сдвига
<i>Вид функции $f(x)$</i>	вид функции, связывающей нормальные и касательные составляющие сил взаимодействия между отсеками в методе Моргенштерна-Прайса
<i>Режим работы анкеров</i>	метод учёта усилия в анкере (см. Нагели и анкеры)
<i>Режим работы ограждений</i>	факторы, учитываемые при определении предельного усилия сопротивления для ограждений

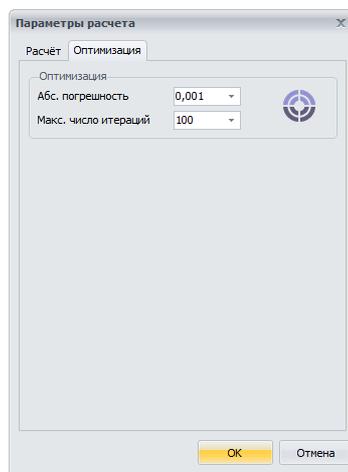
Примечание 1

Настройка "Изменение сдвиговых характеристик при замачивании" также может быть задана в [окне Грунтов](#).

Примечание 2

Увеличение количества отсеков приводит к увеличению времени вычислений. Большое количество отсеков стоит использовать только в случае существенной неоднородности грунта или сложной конфигурации поверхности скольжения.

5.2 Вкладка "Оптимизация" окна дополнительных настроек параметров расчёта выглядит следующим образом:



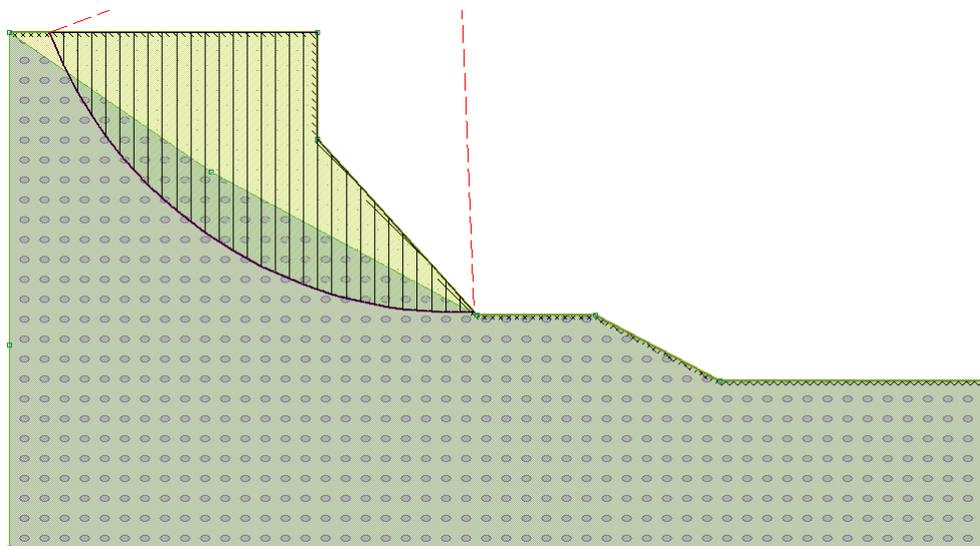
<i>Абс. погрешность</i>	величина абсолютной погрешности, используемая при определении условия сходимости процесса оптимизации
<i>Макс. число итераций</i>	ограничение на количество итераций метода оптимизации

Расчёт с использованием круглоцилиндрических призм

Для расчёта с использованием круглоцилиндрических призм необходимо выбрать соответствующий тип призм ([группа "Тип призмы" на вкладке Ленты "Анализ"](#)).

Предусмотрены следующие возможности:

1. [Выполнение единичного расчета](#),
2. [Осуществление перебора вариантов с поиском опасной призмы](#),
3. [Поиск опасной призмы оптимизационным методом](#).



Методы расчёта ([группа "Параметры расчёта" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

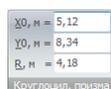
- Феллениуса,
- касательных сил,
- Бишопа,
- Янбу,
- Моргенштерна-Прайса,
- Шахунянца,
- Спенсера.

Одиночный расчет

Для выполнения одиночного расчета необходимо определить параметры круглоцилиндрической призмы сдвига : координаты центра и радиус окружности.

Обеспечить выполнение одиночного расчета можно двумя способами:

1. Ввести с клавиатуры параметры круглоцилиндрической призмы. Подтверждение ввода осуществляется нажатием клавиши **Enter**. Процедура расчета будет запущена автоматически.



2. Определить параметры призмы с помощью мыши. Для этого необходимо:

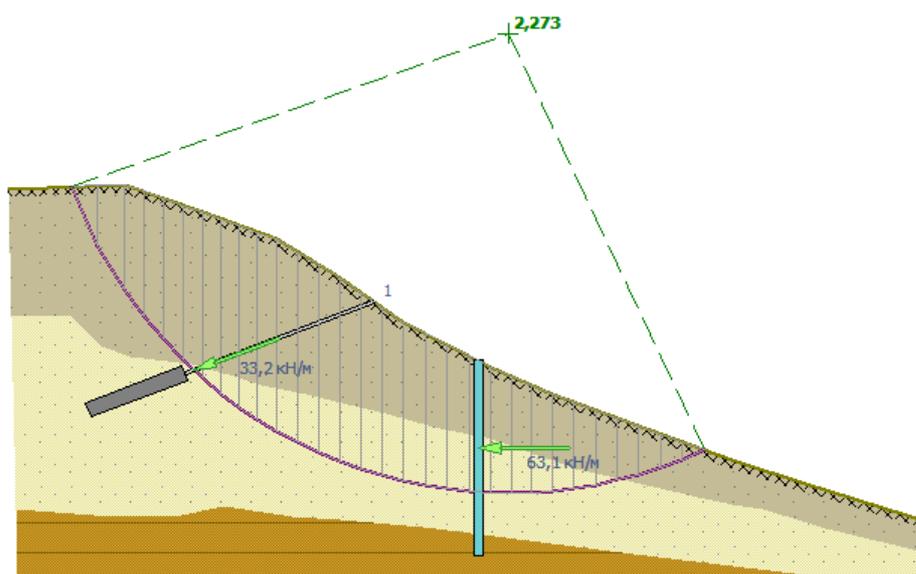
- установить курсор мыши в точку, которая будет центром окружности, и выполнить щелчок левой кнопкой мыши.
- при отпущенной кнопке мыши переместить указатель, определяя требуемый радиус призмы сдвига. Параметры призмы будут занесены на панель "Одиночный расчет".

- повторно выполнить щелчок левой кнопкой мыши. Процедура расчета будет запущена автоматически.

Краткий отчет будет помещен в окне "Результаты расчета".

Примечание.

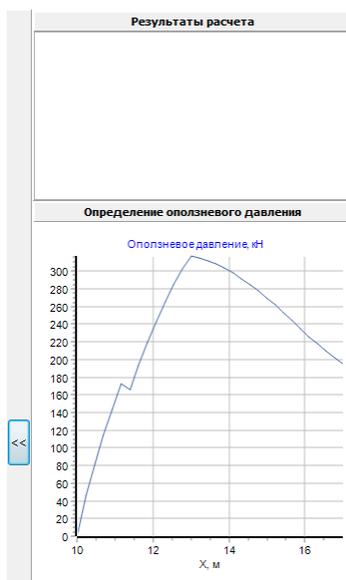
После выполнения расчета для всех армирующих элементов, взаимодействующих с призмой сдвига, отображается усилие, которое оказывает данный элемент на грунтовой массив. В качестве таких элементов выступают: анкеры, нагели, элементы геосинтетики, ограждения.



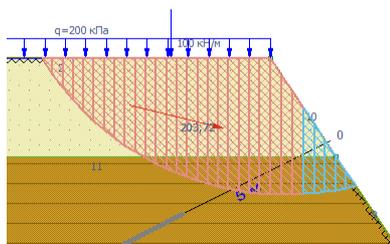
Для задачи вычисления коэффициента устойчивости "Результаты расчёта" выглядят так

Определение коэффициента устойчивости	
Кэфф-т устойч. (КУ)	0,72
Метод расчета КУ	Феллениуса
Направление сдвига	Слева-направо
Количество отсеков	31
Площадь призмы	22,35

а для задачи определения оползневоего давления так



Для получения информации о величине оползневого давления в требуемой точке переместите указатель мыши в область призмы сдвига. Рядом с указателем появится стрелка, определяющая тип (сдвигающая или удерживающая), направление и величину оползневого давления.



Перебор

С целью поиска опасной круглоцилиндрической призмы сдвига можно осуществить один из двух видов перебора:

- "быстрый" перебор по свободной поверхности с автоматическим выбором параметров;
- настраиваемый перебор по свободной поверхности.

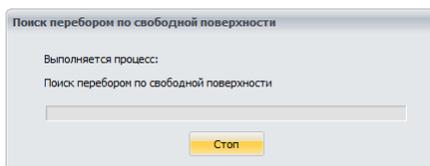
Быстрый перебор

При выполнении "быстрого" перебора по свободной поверхности с автоматическим выбором параметров максимальный шаг по поверхности принимается равным 1/15 горизонтального размера области. Шаг по поверхности не может превышать 2 метра. Шаг по радиусу и минимальный радиус принимаются равными максимальному шагу по поверхности.

В процессе перебора определяется призма с минимальным коэффициентом устойчивости.

Запуск процесса перебора осуществляется нажатием кнопки  [в группе "Поиск" на вкладке Ленты "Анализ"](#).

Прервать процесс перебора можно нажатием кнопки "Стоп" окна индикатора процесса.



Примечание 1

Данный вид перебора рекомендуется использовать для "грубого" анализа склона.

Примечание 2

Результаты перебора можно проанализировать, активизировав список призм.

Настраиваемый перебор

Для входа в режим настраиваемого перебора следует воспользоваться кнопкой  [группы](#) "[Поиск](#)" на вкладке Ленты "[Анализ](#)".

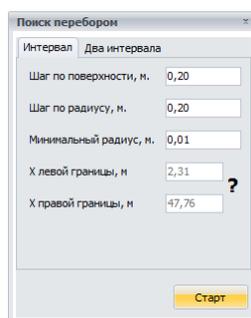
1. Определение геометрии зоны поиска

Возможно использование одного из двух вариантов:

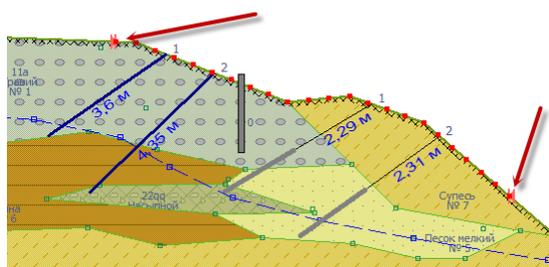
- "Интервал": точки входа и выхода всех генерируемых призм находятся в пределах одного интервала, определяемого пользователем;
- "Два интервала": для всех генерируемых призм точки входа и выхода находятся в разных интервалах, определяемых пользователем.

1.1. Вид перебора "Интервал".

Используйте одноименную вкладку окна модуля перебора.



Введите с клавиатуры величины параметров перебора. Подтверждение ввода осуществляется нажатием клавиши Enter. Точками будут отображены узлы сетки на свободной поверхности. При необходимости с помощью левой кнопки мыши переместите метки границ интервала.

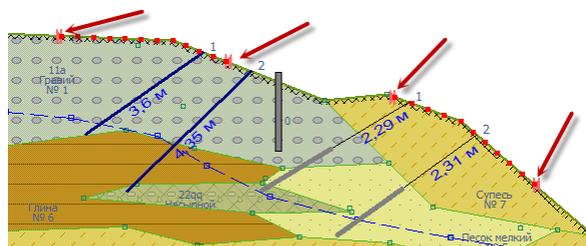


1.2. Вид перебора "Два интервала".

Используйте одноименную вкладку окна модуля перебора.

Поиск перебором	
Интервал	Два интервала
Шаг по поверхности, м.	2,00
Шаг по радиусу, м.	2,00
Минимальный радиус, м.	2,00
Левый интервал	
X левой границы, м	2,31 ?
X правой границы, м	17,46
Правый интервал	
X левой границы, м	32,61 ?
X правой границы, м	47,76
Старт	

Введите с клавиатуры величины параметров перебора. Подтверждение ввода осуществляется нажатием клавиши Enter. Точками будут отображены узлы сетки на свободной поверхности. При необходимости с помощью левой кнопки мыши переместите метки границ интервалов.



2. Выбор критерия поиска опасной призмы.

<i>Вид поиска</i>	<p>вид поиска:</p> <ol style="list-style-type: none"> искать призму с наименьшим K_u, искать призму с наибольшей площадью среди всех призм с коэффициентом устойчивости не более заданного
<i>Минимальный K_u</i>	минимальный K_u - параметр для поиска призмы по максимальной площади

Запуск процесса перебора осуществляется с помощью кнопки "Старт". Прервать процесс перебора можно нажатием кнопки "Стоп" окна индикатора процесса.

Примечание

Результаты перебора можно проанализировать, активизировав список призм.

Оптимизационный поиск

Оптимизационный поиск производится методом Нелдера-Мида. В качестве варьируемых параметров выступают координаты центра и радиус призмы. Начальным приближением служат параметры текущей призмы.

Для запуска процесса нажмите кнопку  [в группе "Поиск" на вкладке Ленты "Анализ"](#).

Процесс может быть прерван нажатием кнопки "Стоп" окна индикатора процесса.

Внимание

В большинстве случаев имеется множество точек локального оптимума. Процедура оптимизационного поиска позволяет определить наиболее оптимальный вариант в окрестности активной призмы и не гарантирует нахождение глобального оптимума. Запуск процесса с иными начальными параметрами может привести к получению очередной оптимальной точки. Для выбора начального приближения рекомендуется использовать процедуру перебора, а оптимизационную процедуру применять для уточнения.

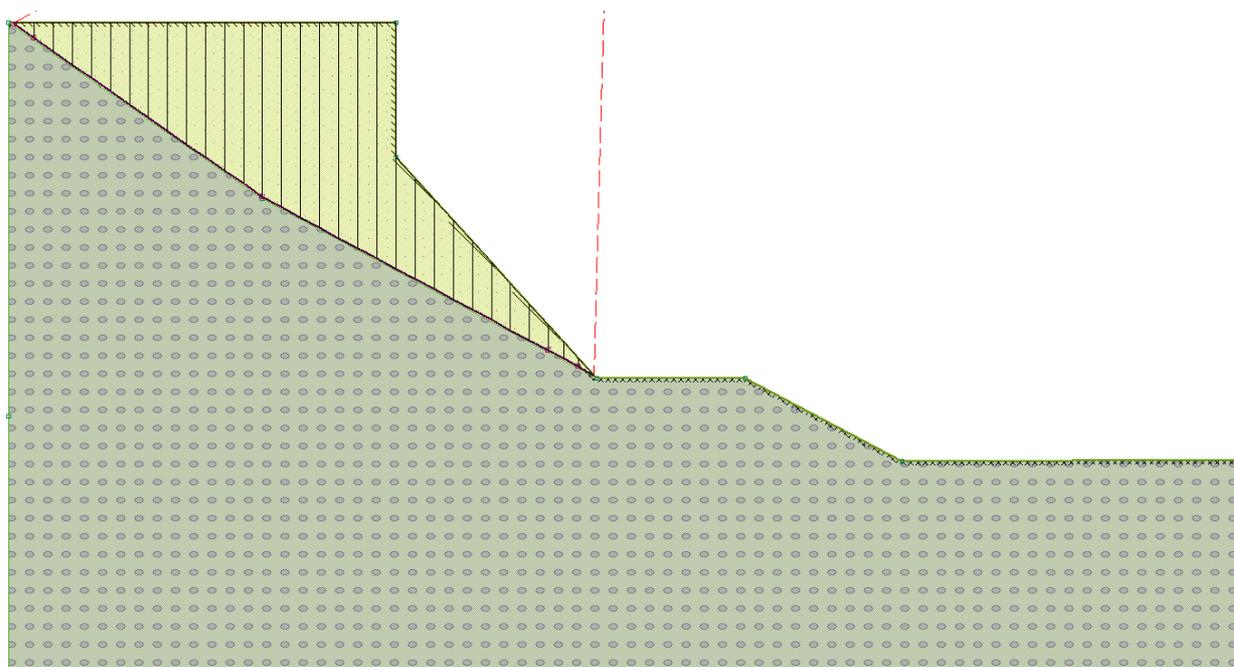
Расчет с использованием призм произвольной конфигурации

Для расчёта с использованием произвольных призм необходимо выбрать соответствующий тип призм ([группа "Тип призмы" на вкладке Ленты "Анализ"](#)).

В ряде случаев, когда предполагаемая поверхность скольжения определяется геологией и имеет сложную конфигурацию, следует использовать методики расчета для призм с произвольной конфигурацией поверхности скольжения.

Предусмотрены следующие возможности:

1. [Выполнение единичного расчета](#),
2. [Поиск опасной призмы оптимизационным методом](#).



Методы расчёта ([группа "Параметры расчёта" на вкладке Ленты "Анализ"](#)):

- касательных сил,
- Янбу,
- Моргенштерна-Прайса,
- Шахунянца,
- Спенсера.

Одиночный расчет

Для выполнения одиночного расчета необходимо определить параметры призмы сдвига произвольной конфигурацией - координаты узлов ломаной линии поверхности скольжения.

Определить поверхность скольжения можно двумя способами:

1. Задание с помощью мыши.

Для добавления узла поверхности скольжения при помощи мыши нужно перейти в режим создания узлов поверхности скольжения (кнопка  [в группе "Произвольная призма" на вкладке Ленты "Анализ"](#)), затем нажать левую кнопку мыши в точке, куда следует поместить узел поверхности скольжения.

Также вместо мыши можно воспользоваться полями ввода координат в [Строке состояния](#) - ввести координаты нового узла и нажать на ENTER.

2. Редактирование таблицы узлов поверхности скольжения (кнопка  [в группе "Произвольная призма" на вкладке Ленты "Анализ"](#)).

№	X, м	Y, м
0	10,24	13,71
1	13,37	2,58
2	22,45	-4,86
3	28,76	-5,42
4	33,45	-3,48
5	40,74	4,42

Для редактирования таблицы используются следующие кнопки:

	добавить новую точку в конец таблицы
	удалить ВЫБРАННУЮ точку из таблицы
	удалить ВСЕ точки из таблицы

В таблице используются следующие обозначения:

<i>№</i>	номер точки
<i>X</i>	X-координата точки, [м]
<i>Y</i>	Y-координата точки, [м]

Примечание

Чтобы привязать задание координат к сетке, нажмите кнопку  в [Строке состояния](#).

После определения поверхности скольжения произвольной призмы необходимо выполнить расчёт (кнопка  в группе "Расчёт" на вкладке Ленты "Анализ").

Примечание.

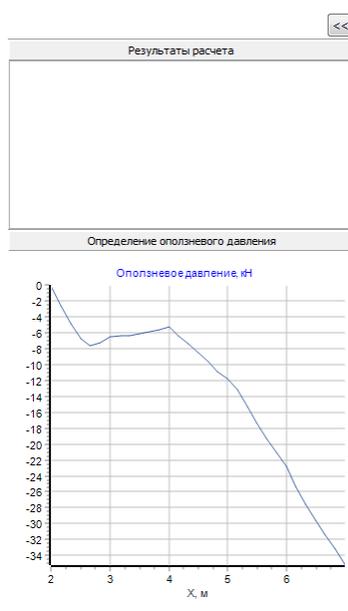
После выполнения расчета для всех армирующих элементов, взаимодействующих с призмой сдвига, отображается усилие, которое оказывает данный элемент на грунтовой массив. В качестве таких элементов выступают: анкеры, нагели, элементы геосинтетики, ограждения.

Краткий отчет будет помещен в окне "Результаты расчета".

Для задачи поиска коэффициента устойчивости "Результаты расчёта" выглядят так

Коефф-т устойч. (КУ)	1,87
Метод расчета КУ	Касательных сил
Направление сдвига	Слева-направо
Количество отсеков	32
Площадь призмы	6,65 м ²

а для задачи поиска оползневого давления так



Для получения информации о величине оползневого давления в требуемой точке переместите указатель мыши в область призмы сдвига. Рядом с указателем появится стрелка, определяющая тип (сдвигающая или удерживающая), направление и величину оползневого давления.

Оптимизационный поиск

Оптимизационный поиск производится методом Нелдера-Мида. В качестве варьируемых параметров выступают координаты узлов поверхности скольжения. Начальным приближением служат параметры призмы, отображаемые [в группе "Произвольная призма" на вкладке Ленты "Анализ"](#).

Для запуска процесса нажмите кнопку  [в группе "Расчёт" на вкладке Ленты "Анализ"](#).

Процесс может быть прерван нажатием кнопки "Стоп" окна индикатора процесса.

Внимание

В большинстве случаев имеется множество точек локального оптимума. Процедура оптимизационного поиска позволяет определить наиболее оптимальный вариант в окрестности активной призмы и не гарантирует нахождение глобального оптимума. Запуск процесса с иными начальными параметрами может привести к получению очередной оптимальной точки. Для выбора начального приближения рекомендуется использовать процедуру перебора, а оптимизационную процедуру применять для уточнения.

15. Анализ результатов

Формирование отчета

Для формирования отчёта нажмите кнопку  в [Основном меню](#), либо кнопку "Отчёт " в [группе "Расчёт" на вкладке Ленты "Анализ"](#). Программой будет сформирован отчёт в формате MS Word, в котором будут отражены следующие данные:

- Физико-механические свойства грунтов.
- Изображение расчётной схемы.
- Таблица с базовыми параметрами отсеков призмы.
- Таблица с базовыми усилиями в отсеках призмы.
- Таблица расчетных параметров алгоритма определения коэффициента устойчивости.
- Результаты расчёта оползневого давления.

Анализ призмы

В программе присутствует модуль анализа призмы сдвига (кнопка  в [группе "Анализ" на вкладке Ленты "Анализ"](#)).

Модуль предназначен для оценки качества полученного решения и влияния различных факторов на оползневый процесс.

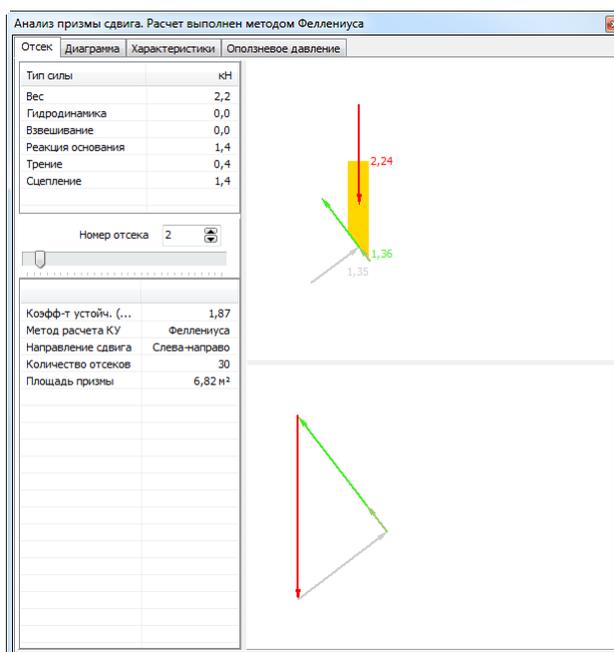
Модуль содержит следующие вкладки:

1. "Отсек".

Содержит общую информацию об отсеках:

- коэффициент устойчивости,
- метод расчёта коэффициента устойчивости,
- направление сдвига,
- количество отсеков,
- площадь призмы.

А также содержит список сил, действующих на выбранный отсек (номер рассматриваемого отсека задаётся в поле ввода "Номер отсека").



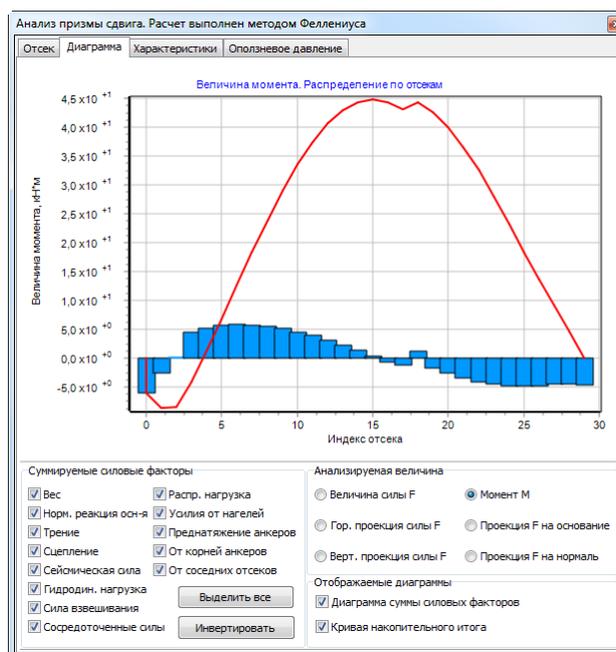
2. "Диаграмма".

Позволяет построить диаграмму силовых величин, распределённых по отсекам:

- сила,
- горизонтальная проекция силы,
- вертикальная проекция силы,
- момент,
- касательная проекция силы,
- нормальная проекция силы.

Силы могут строиться в зависимости от различных комбинаций силовых факторов.

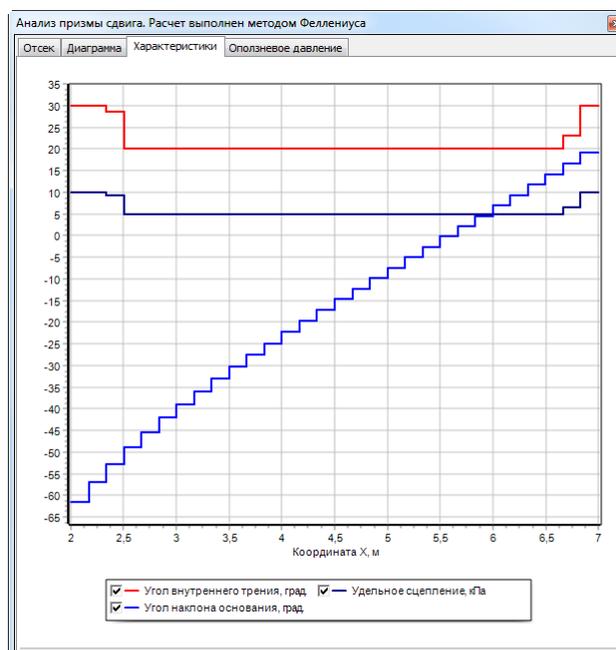
Показывается как распределение величины по отсекам, так и накопленная величина (начинается с 0-го отсека).



3. "Характеристики".

Позволяет построить диаграмму следующих характеристик, распределённых по отсекам:

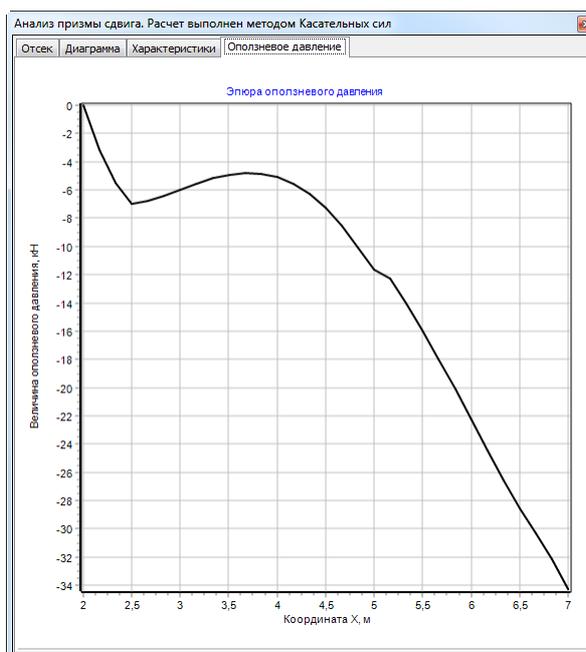
- угол внутреннего трения,
- удельное сцепление,
- угол наклона основания.



4. "Оползневое давление".

Позволяет построить эпюру оползневое давления от координаты.

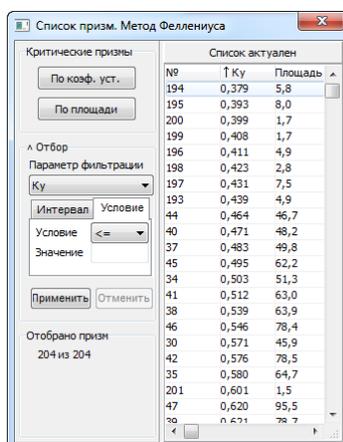
Эпюра оползневых давлений доступна, если был произведён расчёт с типом задачи - оползневое давление ([группа "Задача" на вкладке Ленты "Анализ"](#)).



Список призм

Модуль список призм предназначен для комплексного анализа склона. Список содержит информацию о всех геометрически корректных призмах, сгенерированных в процессе последнего перебора.

Активизация окна модуля списка призм осуществляется с помощью кнопки  [Основного меню](#).



Окно модуля содержит следующие элементы:

1. Список призм.
2. Средства фильтрации.

1. Список призм.

Для каждой круглоцилиндрической призмы отображается следующая информация:

- порядковый номер, определяющий порядок генерации;
- коэффициент устойчивости (Ku);

- площадь призмы.

При смене активного элемента списка с помощью мыши или клавиатуры, в графической области подсвечивается соответствующая ему поверхность скольжения.

При двойном щелчке мышью над требуемым элементом списка производится передача соответствующих данных в головное окно приложения и автоматический перерасчет. В дальнейшем применительно к выбранной призме возможно производить определение K_u другими методами, определять оползневое давление, запускать оптимизационный поиск, генерировать отчет.

Для сортировки элементов списка по выбранному параметру необходимо выполнить щелчок левой кнопкой мыши по заголовку требуемого столбца данных. Повторный щелчок приводит к сортировке в обратном порядке.

При изменении геометрии склона данные списка уничтожаются. Данное состояние соответствует невалидному набору результатов перебора.

2. Средства фильтрации позволяют накладывать фильтры при отображении данных списка.

Возможно применение двух видов фильтрации

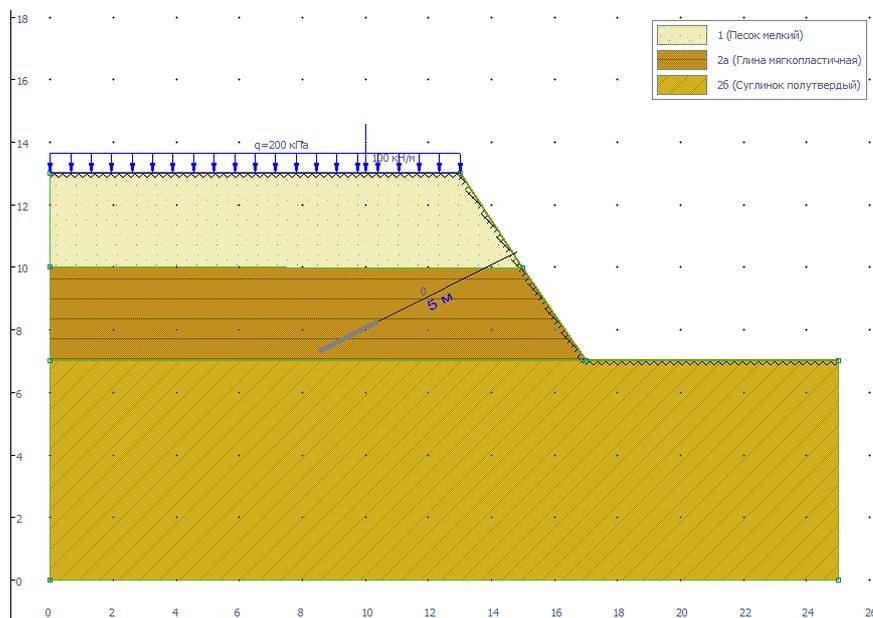
- с заданием интервала значений;
- с заданием условия.

Для применения заданных параметров используется кнопка *Применить*. При применении новых параметров фильтрации старые автоматически сбрасываются.

Сброс фильтрации осуществляется кнопкой *Отменить*.

Пример расчёта 1

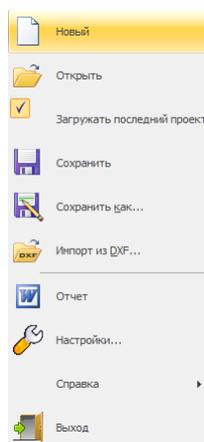
Рассматривается исследование устойчивости склона, схематически представленного на рисунке.



Грунтовый массив содержит три области с различными характеристиками. Присутствуют сосредоточенное и распределенное усилия, а также анкерное крепление.

1. Новый проект

Начнём работу над новым проектом, нажав кнопку , или выбрав аналогичную команду из [Основного меню](#):



Так же можно использовать сочетание клавиш **Ctrl + N**.

Программа создаст временный новый проект. После окончания работы необходимо будет сохранить проект.

2. Построение геометрии

Перейдём в режим создания областей (кнопка  [в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Включим привязку к сетке (кнопка  в [Строке_состояния](#)). Параметры сетки можно подобрать в [окне "Настройки" на вкладке "Сетка"](#).

По умолчанию сетка установлена адаптивная, то есть шаг сетки равен шагу линейек. Поэтому, для удобства работы с сеткой может понадобиться приблизить/отдалить схему с помощью колёсика мыши.

Нажмём левой кнопкой мыши по следующим точкам: (0;0), (0;7), (0;13), (13;13), (17;7), (25;7), (25;0), (0;0), (0;10), (15;10), (17;7), (0;7). После задания точек нажмём правую кнопку мыши для завершения задания полилинии.

Примечание

Точки (0;0) и (17;7) в полилинию войдут дважды.

Графическое поле примет вид



Таблица точек (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные")

выглядит следующим образом

№	X, м	Y, м
0	0,00	0,00
1	0,00	7,00
2	0,00	13,00
3	13,00	13,00
4	17,00	7,00
5	25,00	7,00
6	25,00	0,00
7	0,00	10,00
8	15,00	10,00

3. Физико механические свойства грунтов

На следующем этапе заполняем таблицу свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Для этого нужно открыть окно "Инженерно-геологические элементы" (кнопка  в [группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные"](#)).

Нам необходимо получить характеристики трех материалов: песка мелкого, глины мягкопластичной, суглинка полутвердого.

Воспользуемся справочником грунтов (кнопка ). Зададим названия ИГЭ и типы грунтов (тип грунта можно выбрать из выпадающего списка), нажмём на "Выч. всё". Потом нажмём на "Ок".

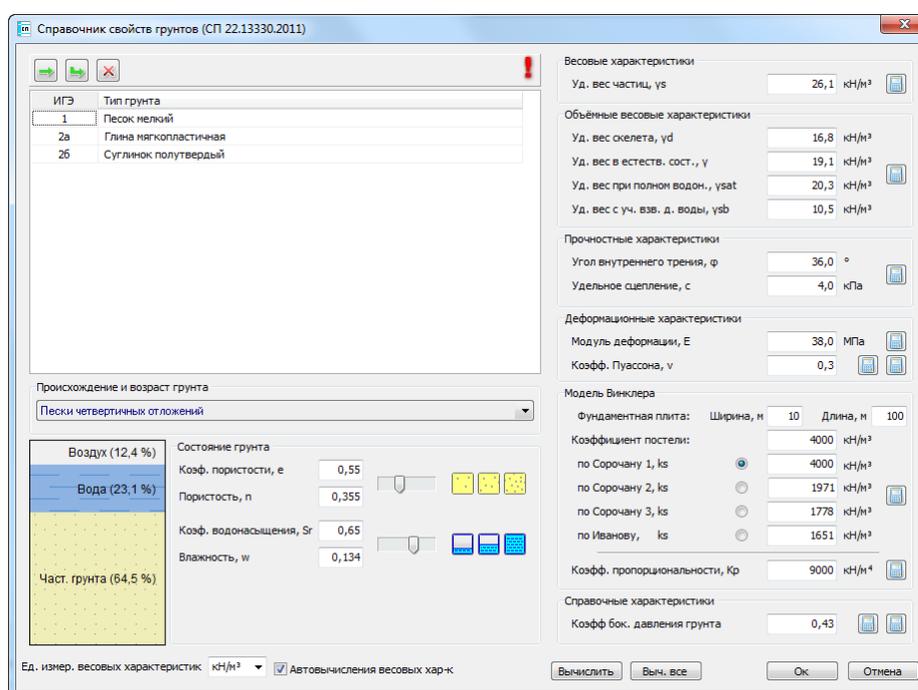
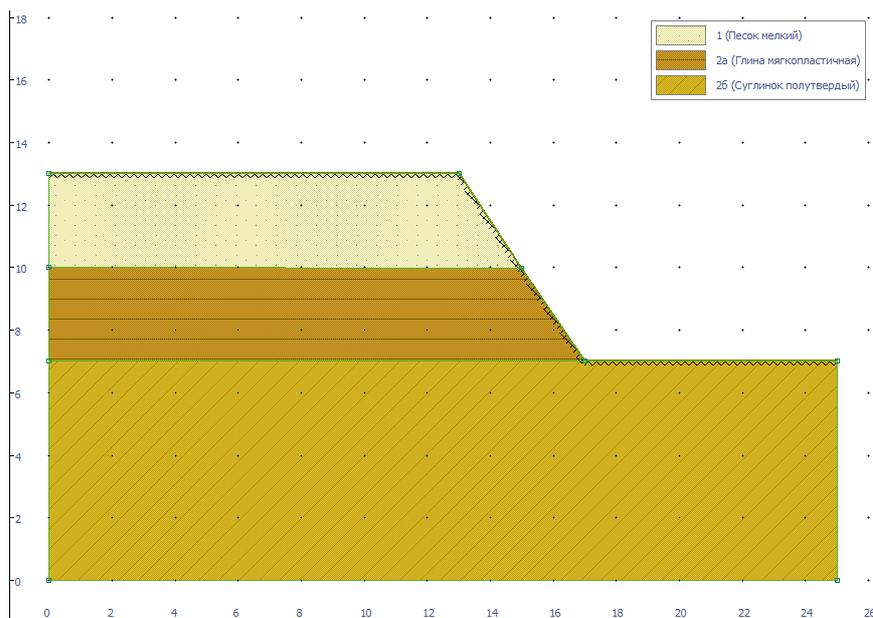


Таблица геологических данных принимает вид

№ ИГЭ	Наименование	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³	Штриховка
1	Песок мелкий	19,1	4,0	36,0	20,3	
2a	Глина мягкопластичная	17,9	34,5	11,0	18,8	
2б	Суглинок полутвердый	18,9	28,0	23,5	19,7	

Для того, чтобы назначить ИГЭ области перейдем в таблице грунтов на нужный грунт (нажав левую кнопку мыши на нужной строке в таблице или перейдя с помощью "стрелочек" на клавиатуре), переместим курсор мыши на нужную область и нажмём левую кнопку мыши.

После задание ИГЭ графическое поле будет выглядеть следующим образом



4. Задание нагрузок

Перейдём в режим создания сосредоточенных сил (кнопка  в группе "Силы" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Установим сосредоточенную силу в точку (10; 13), нажав левую кнопку мыши. По умолчанию, сила направлена вниз, поэтому направление её менять не нужно. В Редакторе свойств зададим значение силы 100 кН и нажмём на "Применить".

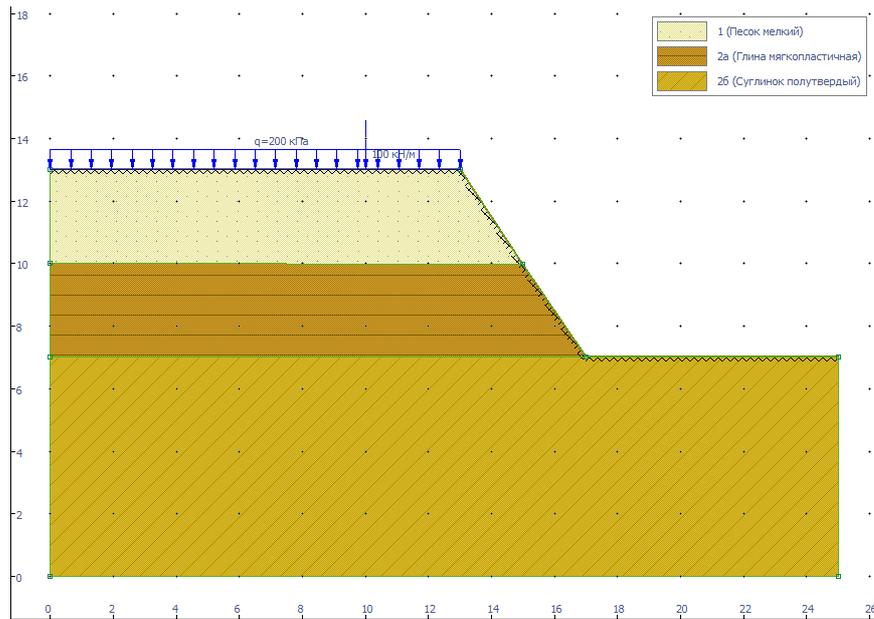
Редактор свойств	
Сосредоточенная сила № 0	
Параметр	Значение
X, м.	10,0
Y, м.	13,0
Угол наклона, град.	0
Величина силы, кН	100

Перейдём в режим создания распределённых нагрузок (кнопка  в группе "Нагрузки" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Установим распределённую нагрузку на верхней линии свободной поверхности. В Инспекторе объектов зададим постоянную величину нагрузки 200 кПа (q_1 и q_2 в Редакторе свойств) и нажмём кнопку "Применить".

Редактор свойств	
Распределенная нагрузка № 0	
Параметр	Значение
Величина нагрузки q_1 , кПа	200
Величина нагрузки q_2 , кПа	200
Угол наклона, град.	0

После задания нагрузок графическое поле будет выглядеть следующим образом

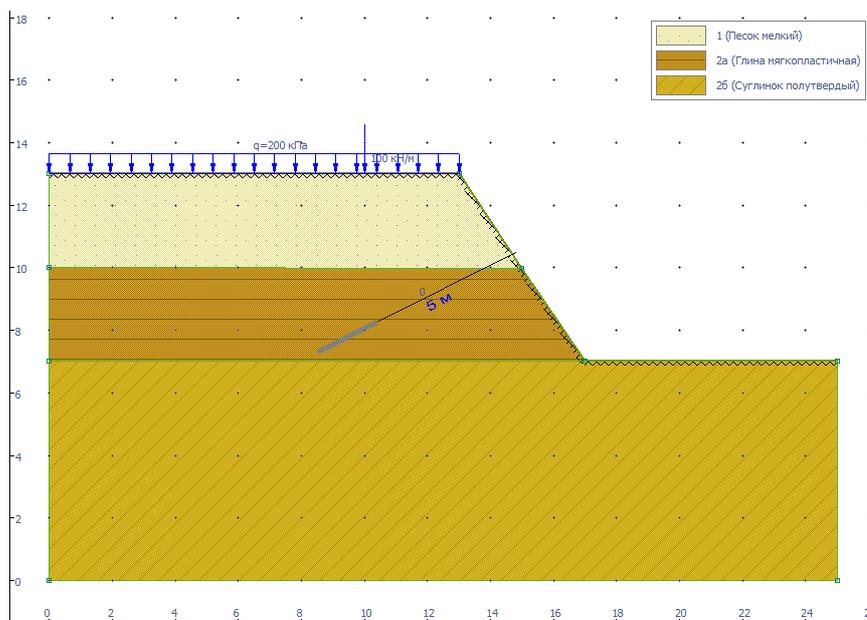


5. Задание анкеров

Откроем таблицу анкеров (кнопка  в группе "Анкеры" на вкладке Ленты "Исходные данные" (недоступно в Lite-версии)) и добавим анкер со следующими параметрами.

Анкеры									
<input checked="" type="radio"/> Сцепление по корню <input type="radio"/> Преднапряжение									
№	X, м	Y, м	D, мм	φ , °	L1, м	L2, м	S, м	C, кПа	
▶ 0	14,8	10,5	150	27	5,0	2,0	1,0	100	

Закроем окно с таблицей анкеров. Графическое поле будет выглядеть следующим образом



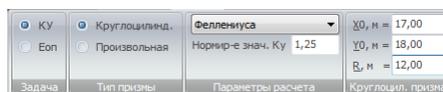
6. Расчёт с использованием метода Феллениуса

Перейдём [на вкладку Ленты "Анализ"](#).

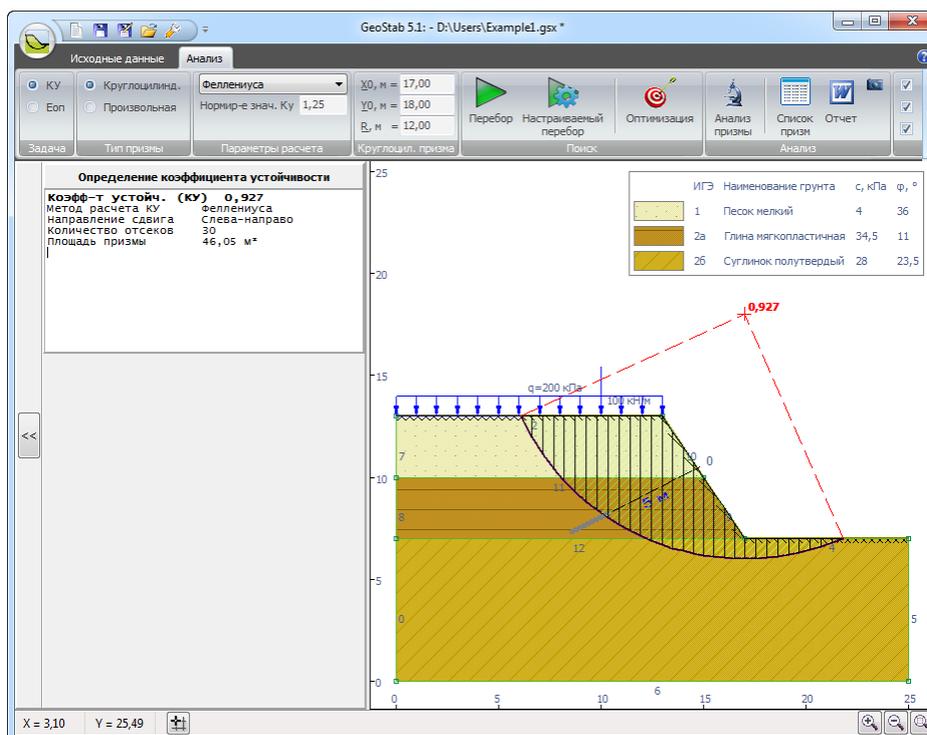
1. Одиночный расчёт

Найдём коэффициент устойчивости круглоцилиндрической призмы с центром поверхности скольжения (17; 18) и радиусом 12.

Зададим параметры

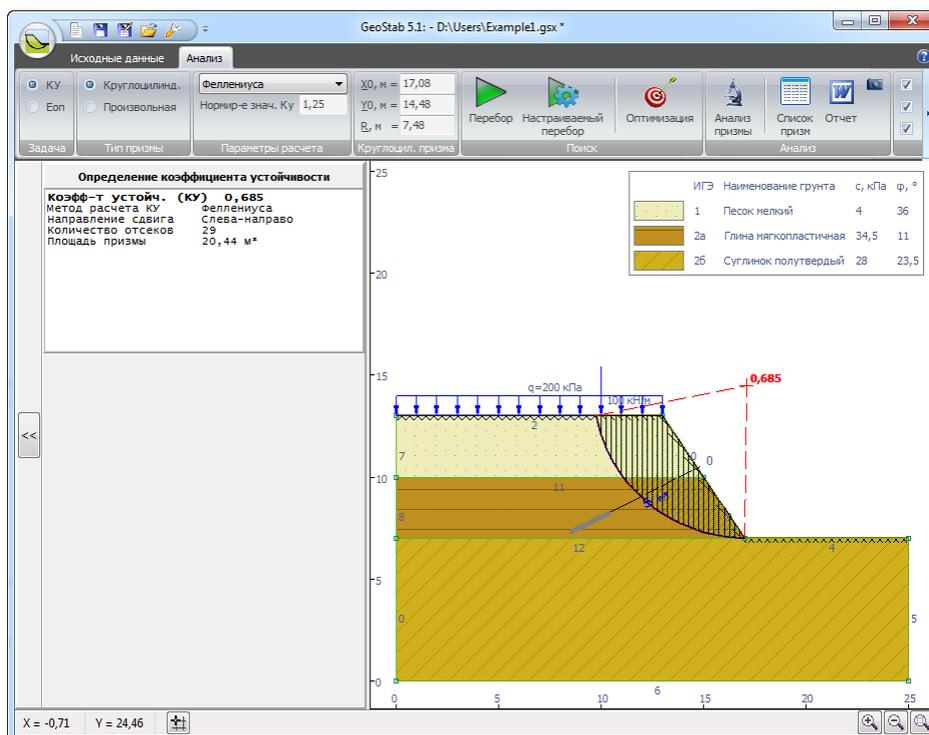


и выполним расчёт, нажав кнопку Enter клавиатуры.



2. Перебор

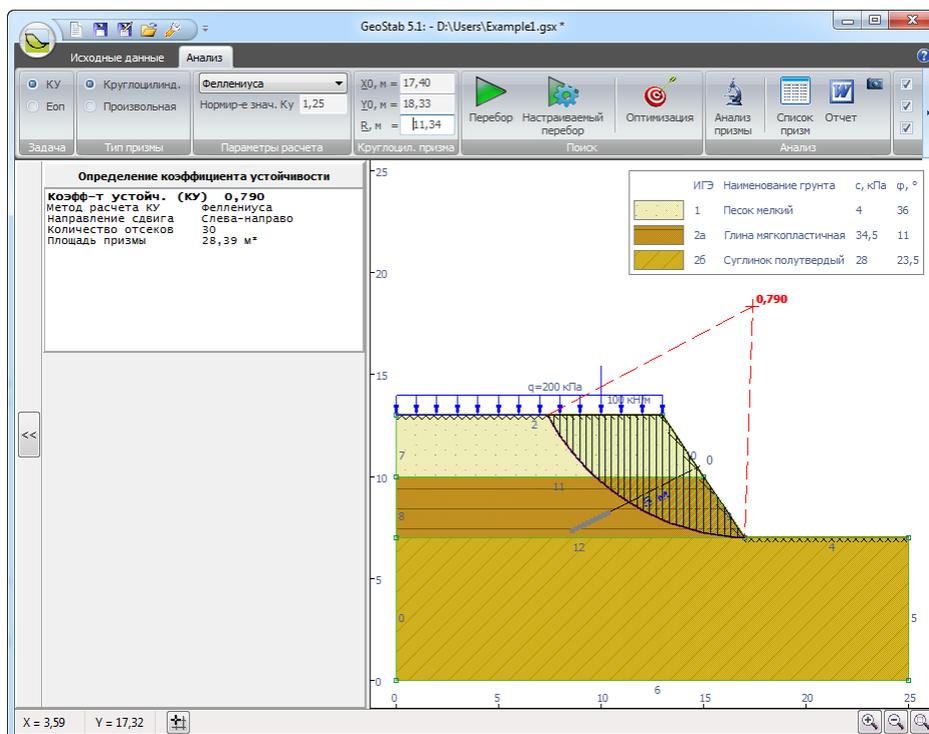
Найдём самую опасную круглоцилиндрическую призму (кнопка  в группе "Поиск" на вкладке Ленты "Анализ").



3. Оптимизация

Уточним первоначально заданную призму - призму с центром (17; 18) и радиусом 12.

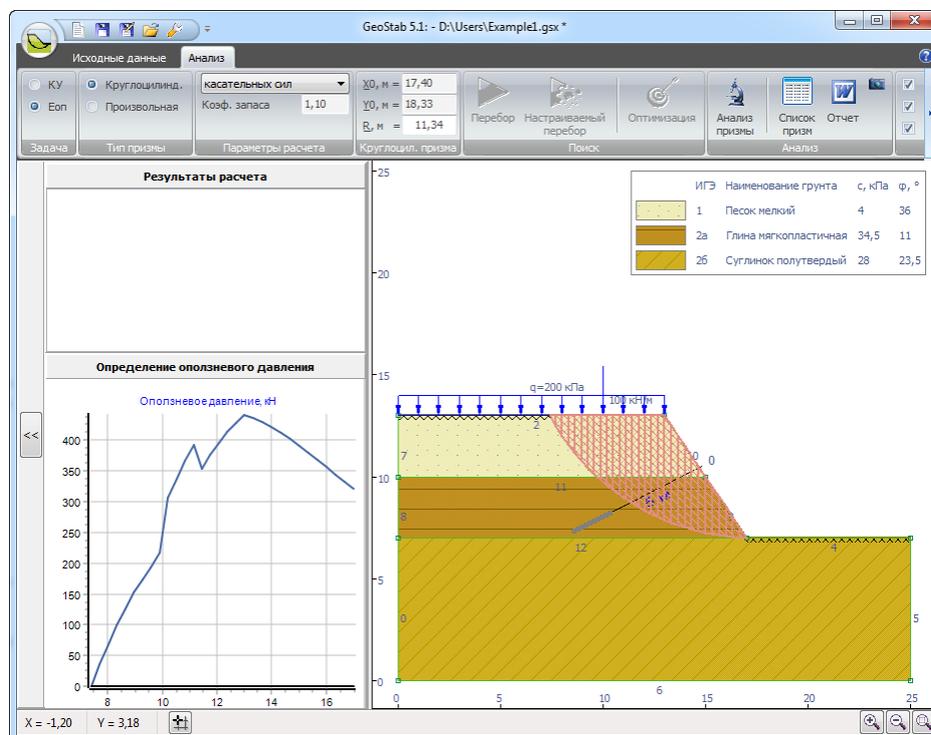
Введем параметры, нажмем Enter, а затем нажмём кнопку  в группе "Поиск" на вкладке Ленты "Анализ".



4. Оползневое давление

Найдём распределение оползневое давление в полученной круглоцилиндрической призме.

Выберем задачу - "Оползневое давление" [в группе "Задача" на вкладке Ленты "Анализ"](#).

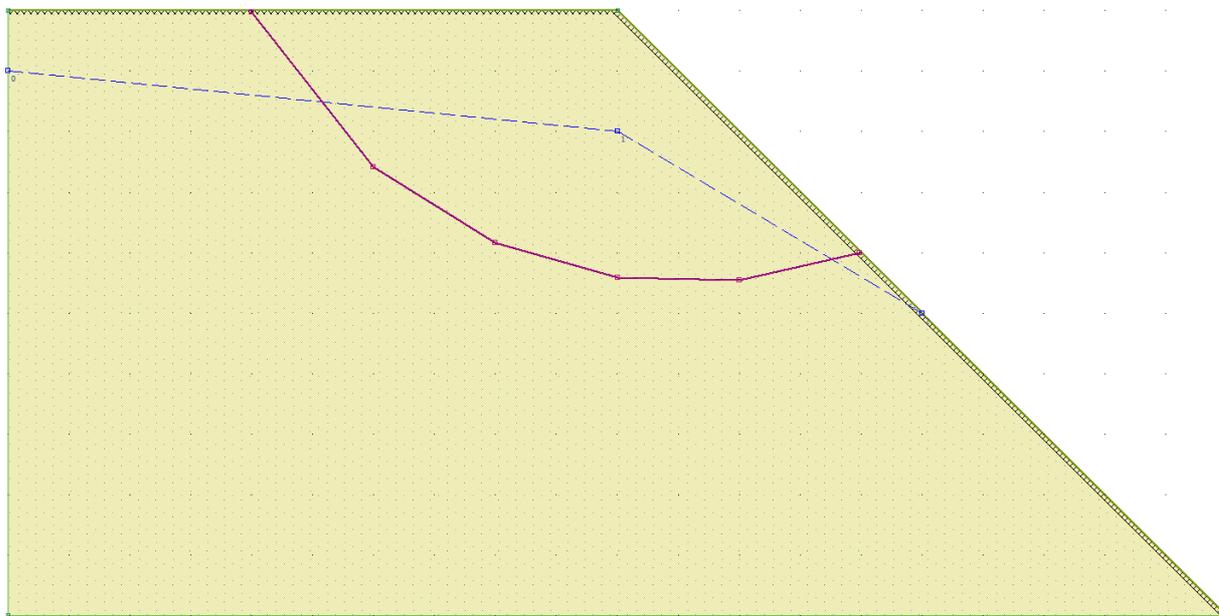


7. Отчёт

Для формирования отчёта нажимаем кнопку в [Основном меню](#), либо кнопку "Отчёт" [в группе "Расчёт" на вкладке Ленты "Анализ"](#). Программой будет сформирован отчёт в формате MS Word. При необходимости в текст можно внести дополнения.

Пример расчета 2

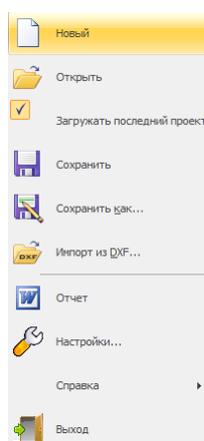
Рассматривается простейший случай учета влияния грунтовых вод на примере представленной расчетной схемы. Выполним расчеты и сопоставим результаты, полученные с использованием метода Феллениуса и метода Шахунянца.



Грунт полагаем однородным. При расчете будем использовать пять отсеков (элементарных призм).

1. Новый проект

Начнём работу над новым проектом, нажав кнопку , или выбрав аналогичную команду из [Основного меню](#):



Так же можно использовать сочетание клавиш Ctrl + N.

Программа создаст временный новый проект. После окончания работы необходимо будет сохранить проект.

2. Построение геометрии

Перейдём в режим создания областей (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Включим привязку к сетке (кнопка  в [Строке состояния](#)). Параметры сетки можно подобрать в [окне "Настройки" на вкладке "Сетка"](#).

По умолчанию сетка установлена адаптивная, то есть шаг сетки равен шагу линеек. Поэтому, для удобства работы с сеткой может понадобиться приблизить/отдалить схему с помощью колёсика мыши.

Нажмём левой кнопкой мыши по следующим точкам: (0,0), (0,5), (5,5), (10,0), (0; 0). После задания точек нажмём правую кнопку мыши для завершения задания полилинии.

Примечание

На точку (0;0) нажимаем второй раз, чтобы замкнуть полилинию.

Графическое поле примет вид

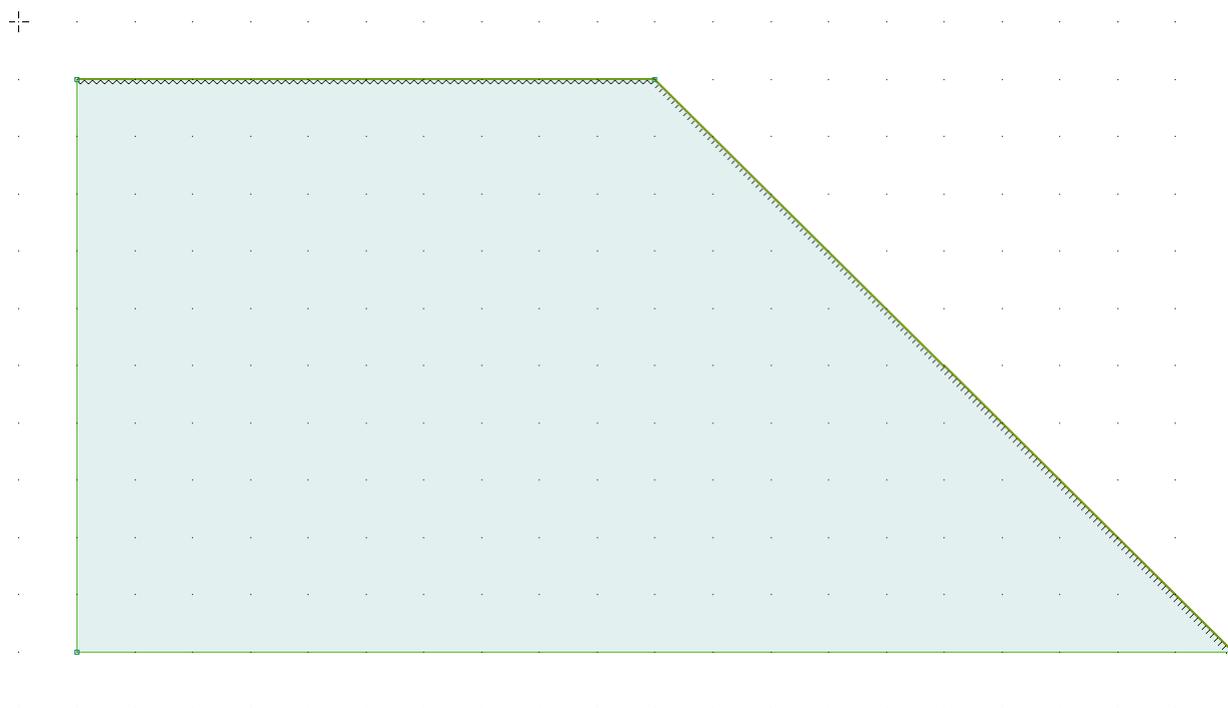
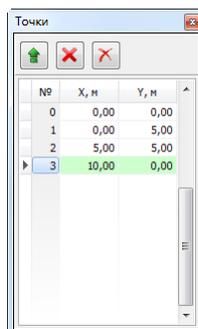


Таблица точек (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные") выглядит следующим образом

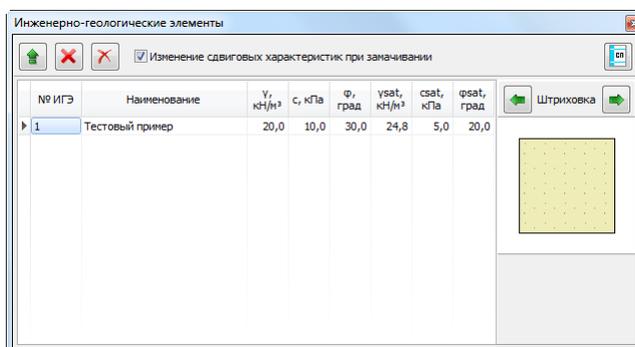


№	X, м	Y, м
0	0,00	0,00
1	0,00	5,00
2	5,00	5,00
3	10,00	0,00

3. Физико механические свойства грунтов

На следующем этапе заполняем таблицу свойств инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Для этого нужно открыть окно "Инженерно-геологические элементы" (кнопка  в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные").

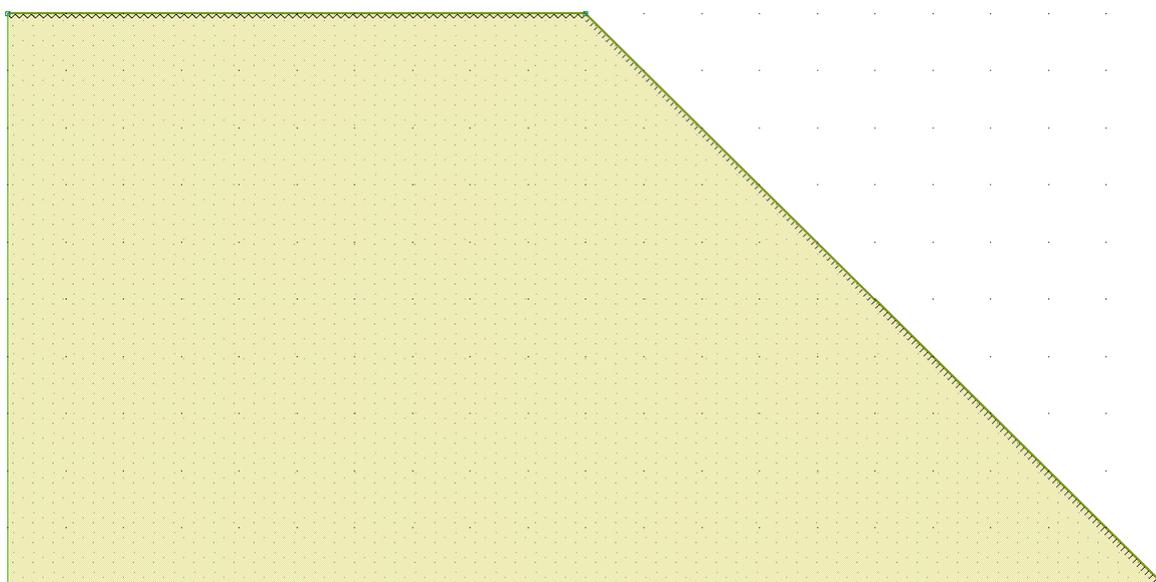
Зададим грунт со следующими свойствами



№ ИГЭ	Наименование	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	usat, кН/м ³	csat, кПа	fsat, град
1	Тестовый пример	20,0	10,0	30,0	24,8	5,0	20,0

Для того, чтобы назначить ИГЭ области перейдем в таблице грунтов на нужный грунт (нажав левую кнопку мыши на нужной строке в таблице или перейдя с помощью "стрелочек" на клавиатуре), переместим курсор мыши на нужную область и нажмём левую кнопку мыши.

После задание ИГЭ графическое поле будет выглядеть следующим образом

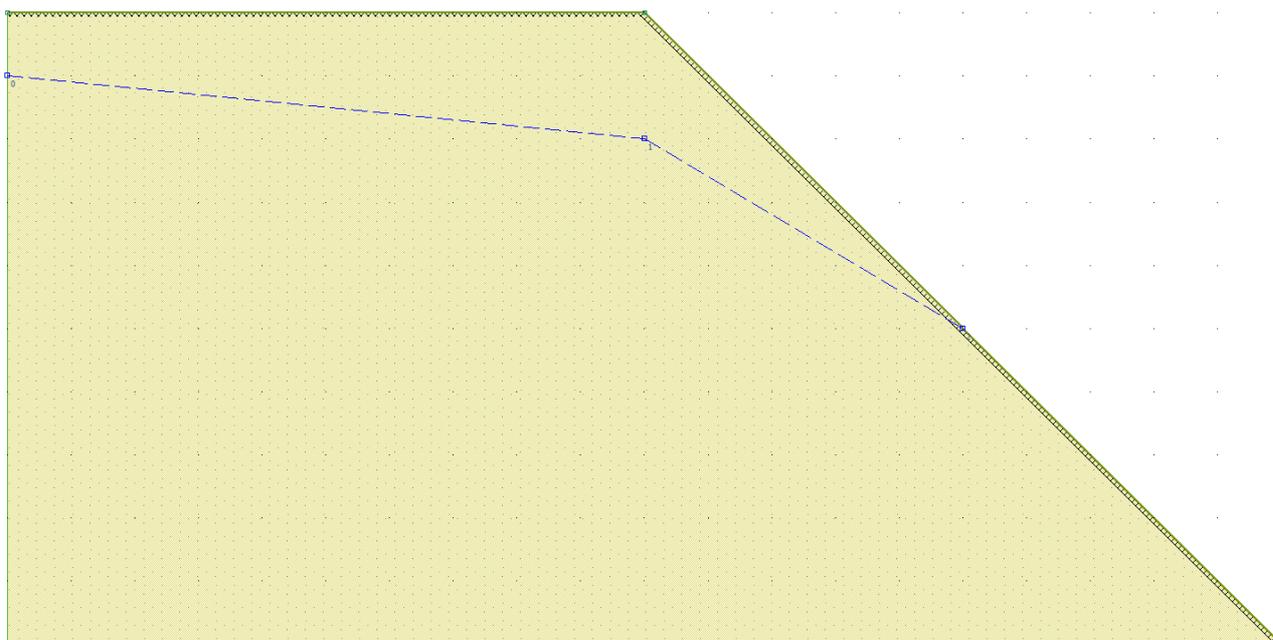


4. Задание депрессионной кривой

Перейдём в режим добавления узлов депрессионной кривой (кнопка  в группе "Вода" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Построим депрессионную кривую по трём узлам (0, 4.5), (5, 4), (7.5, 2.5), создав их с помощью левой кнопки мыши.

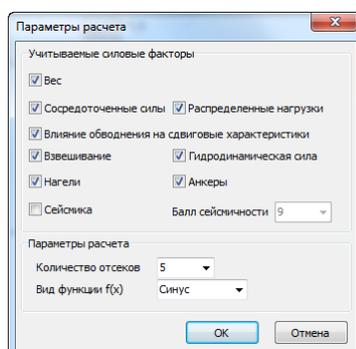
Графическое поле примет вид



5. Расчёт

Сопоставим результаты, полученные по двум методикам: методу Феллениуса и методу Шахунянца. Для удобства построения произвольной поверхности скольжения будем использовать малое количество отсеков (элементарных призм) при расчете.

Откроем дополнительные параметры расчёта (кнопка  в группе "Параметры расчёта" на вкладке Ленты "Анализ") и установим количество отсеков равным 5.



1. Расчет призмы с круглоцилиндрической поверхностью скольжения методом Феллениуса

В группе "Круглоцил. призма" на вкладке Ленты "Анализ" зададим следующие характеристики призмы скольжения:

X ₀ , м =	5,60
Y ₀ , м =	6,75
B, м =	4,00
Круглоцил. призма	

и нажмем клавишу Enter. В окне отчета будет отображена следующая информация:

Определение коэффициента устойчивости	
Коефф-т устойч. (K _у)	1,858
Метод расчета K _у	Фелленюса
направление сдвига	слева-направо
Количество отсеков	5
Площадь призмы	6,64 м ²

2. Расчет призмы с поверхностью скольжения в виде ломаной методом Шахунянца

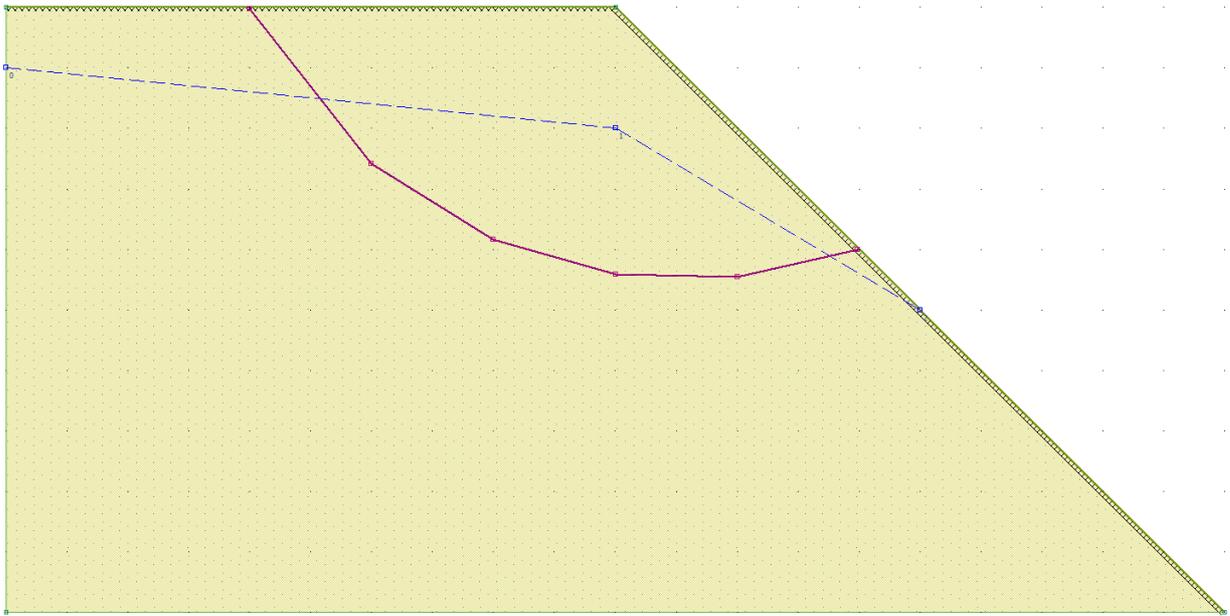
Создадим дополнительные узловые точки и сформируем конфигурацию произвольной призмы сдвига. Будем определять произвольную поверхность скольжения максимально близкой к круглоцилиндрической.

В таблице узлов поверхности скольжения (кнопка  в группе "Произвольная призма" на вкладке Ленты "Анализ") зададим следующее

№	X, м	Y, м
0	2,00	4,99
1	3,00	3,71
2	4,00	3,08
3	5,00	2,79
4	6,00	2,77
5	6,99	3,00

Закроем окно с таблицей узлов произвольной поверхности скольжения.

После задания поверхности скольжения графическое поле будет выглядеть следующим образом

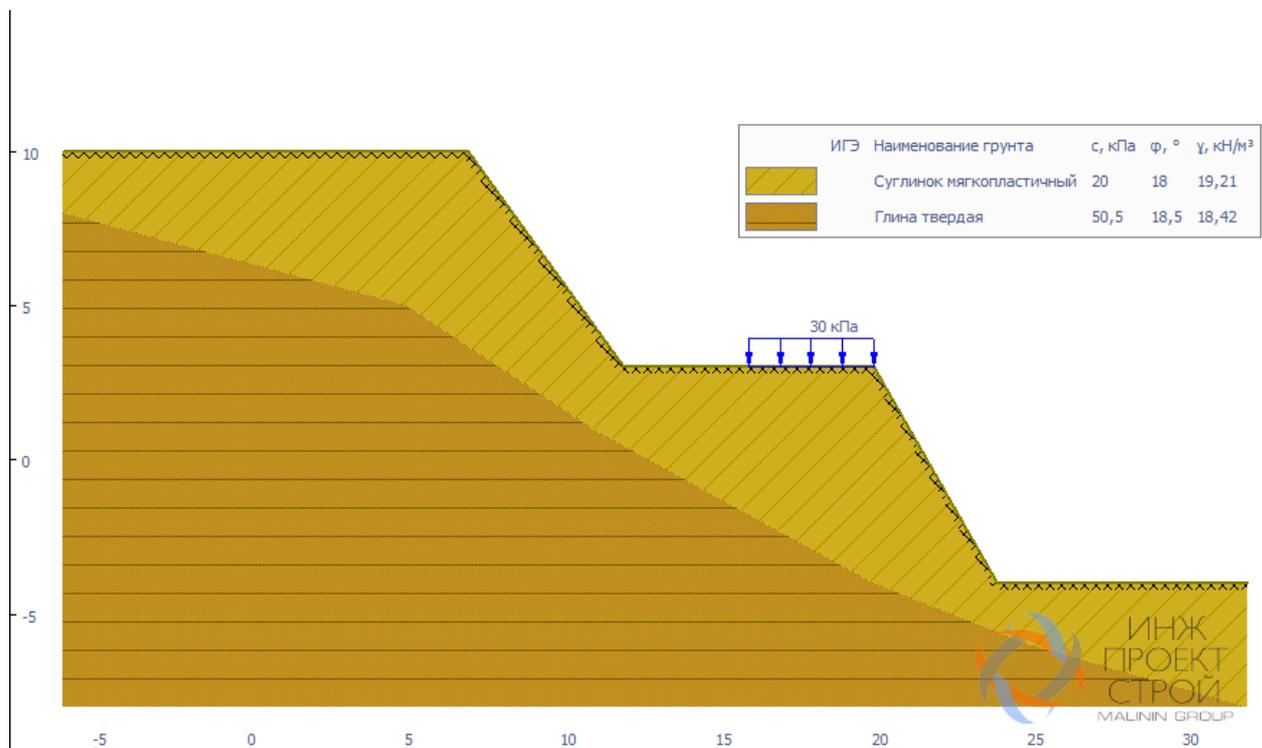


Выполнив расчет по методу Шахунянца, используя пять отсеков, в окне отчета получим следующие результаты:

Определение коэффициента устойчивости	
Коефф-т устойч. (КУ)	1,767
Метод расчета КУ	Шахунянца
Направление сдвига	Слева-направо
Количество отсеков	7
Площадь призмы	6,65 м*

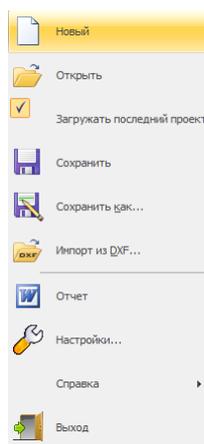
Пример расчета 3

Требуется исследовать устойчивость откоса, находящегося под действием внешней распределенной нагрузки.



1. Новый проект

Начнём работу над новым проектом, нажав кнопку , или выбрав аналогичную команду из [Основного меню](#):



Так же можно использовать сочетание клавиш **Ctrl + N**.

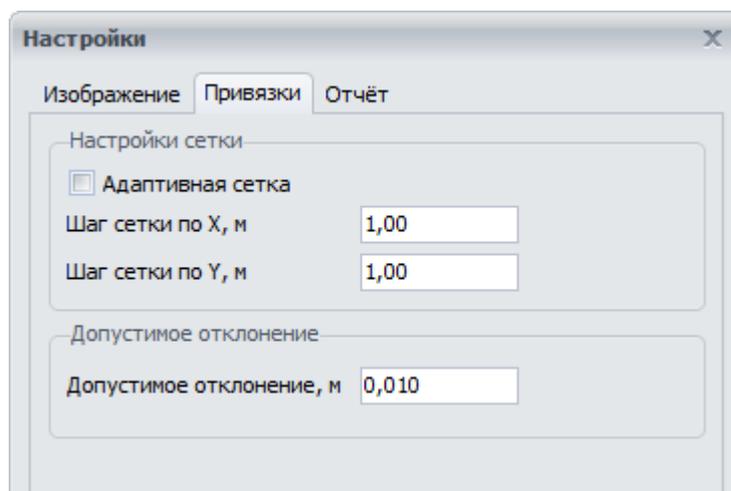
Программа создаст временный новый проект. После окончания работы необходимо будет сохранить проект.

2. Построение геометрии

Перейдём в режим создания областей (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные").

Для удобства привязки курсора установим параметры сетки, активизировав окно настроек:

- без адаптации к линейке;
- шаг 1 метр.



Включим привязку к сетке (кнопка  в [Строке состояния](#)).

Последовательно создадим с помощью левой кнопки мыши точки внешнего контура рассматриваемого грунтового массива: (-6, -8), (-6, 10), (7, 10), (12, 3), (20, 3), (24, -4), (32, -4), (32, -8). Замкнем контур, выделив стартовую точку.



Для того, чтобы начать создание новой полилинии, выполним щелчок правой кнопкой мыши.

Создадим линию, определяющую границу между грунтами, последовательно создавая точки: (-6, 8), (5, 5), (11, 1), (20, -4), (25, -6), (32, -8). Разбиение исходного многоугольника на

две части произойдет автоматически.



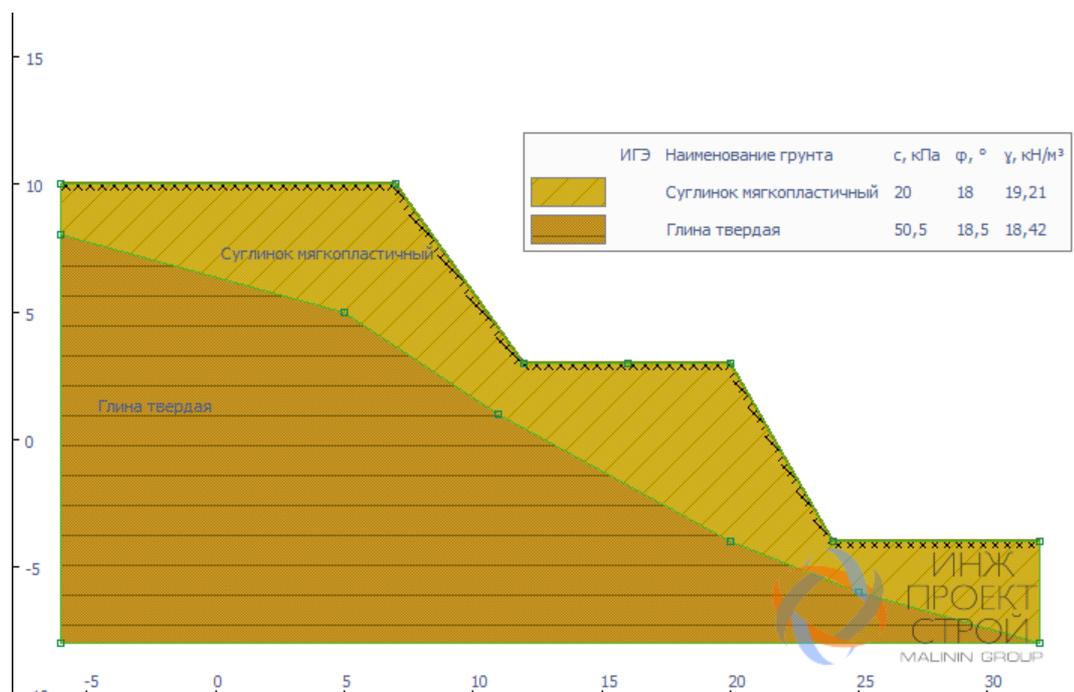
Отключим привязку к сетке (кнопка  в [Строке состояния](#)).

3. Физико механические свойства грунтов

Перейдя в режим "Грунты" (кнопка  в группе "Грунты" на вкладке Ленты "Исходные данные"), зададим грунт со следующими свойствами:

ИГЭ	Наименование	γ , кН/м ³	c , кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³
	Суглинок мягкопластичный	19,2	20,0	18,0	20,0
	Глина твердая	18,4	50,5	18,5	19,3

Выполним привязку грунтов к многоугольникам сечения с помощью левой кнопки мыши.



4. Задание распределенной нагрузки

Так как распределенные нагрузки прикладываются на существующие линии, потребуется предварительно создать линию с требуемыми границами.

Для этого перейдем в режим создания областей (кнопка  в группе "Геометрия" на вкладке Ленты "Исходные данные").

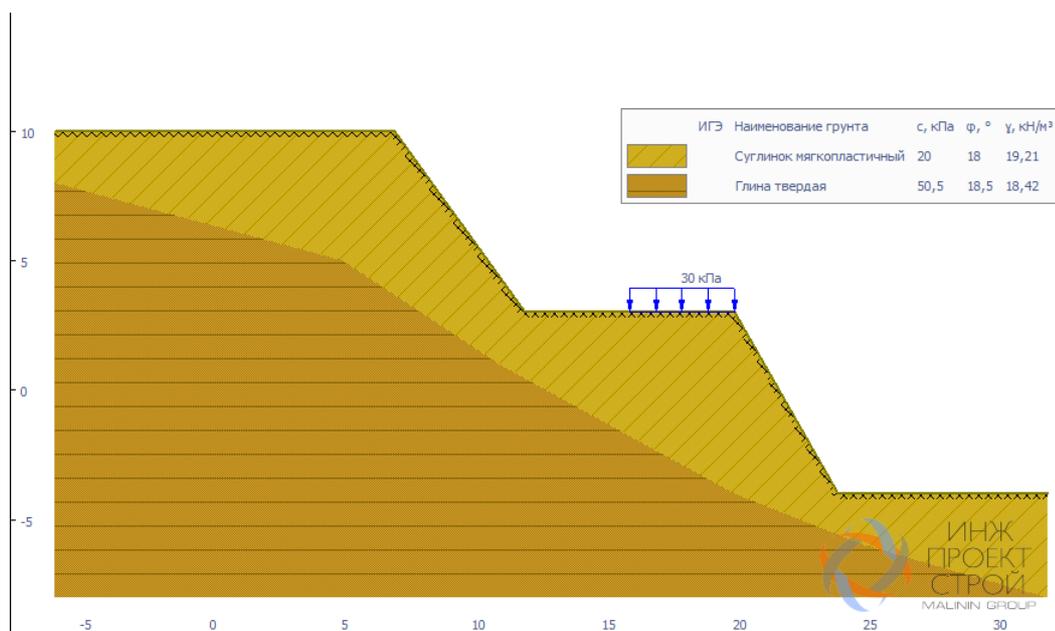
В ячейки панели ввода координат введем координаты точки (16, 3) и нажмем Enter. Разбиение существующей линии произойдет автоматически.

X,м = 16 Y,м = 3

Нажмем кнопку Esc для выхода из режима.

Перейдем в режим создания распределённых нагрузок (кнопка  в группе "Нагрузки" на вкладке Ленты "Исходные данные").

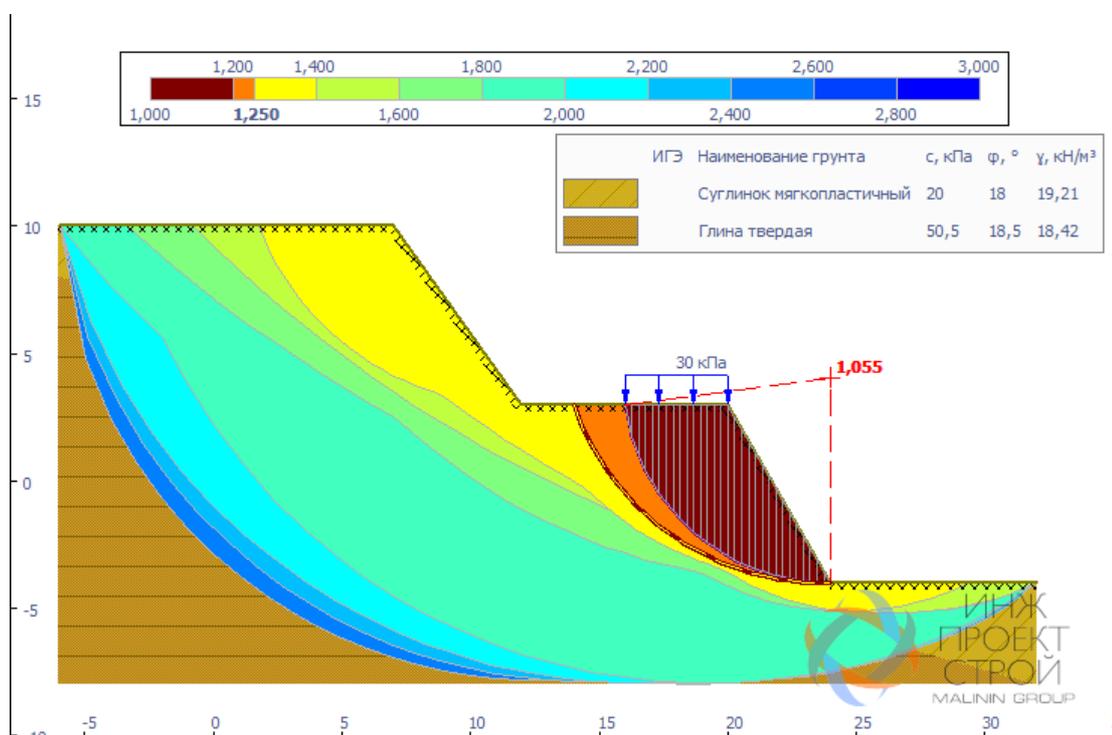
Установим распределённую нагрузку на требуемой линии свободной поверхности.



5. Анализ устойчивости склона

Перейдем на вкладку "Анализ" ленточного меню. Будем использовать метод Феллиуса (установлен по умолчанию).

Для "грубого" анализа воспользуемся кнопкой "Быстрый перебор" (кнопка ► группы "Поиск")



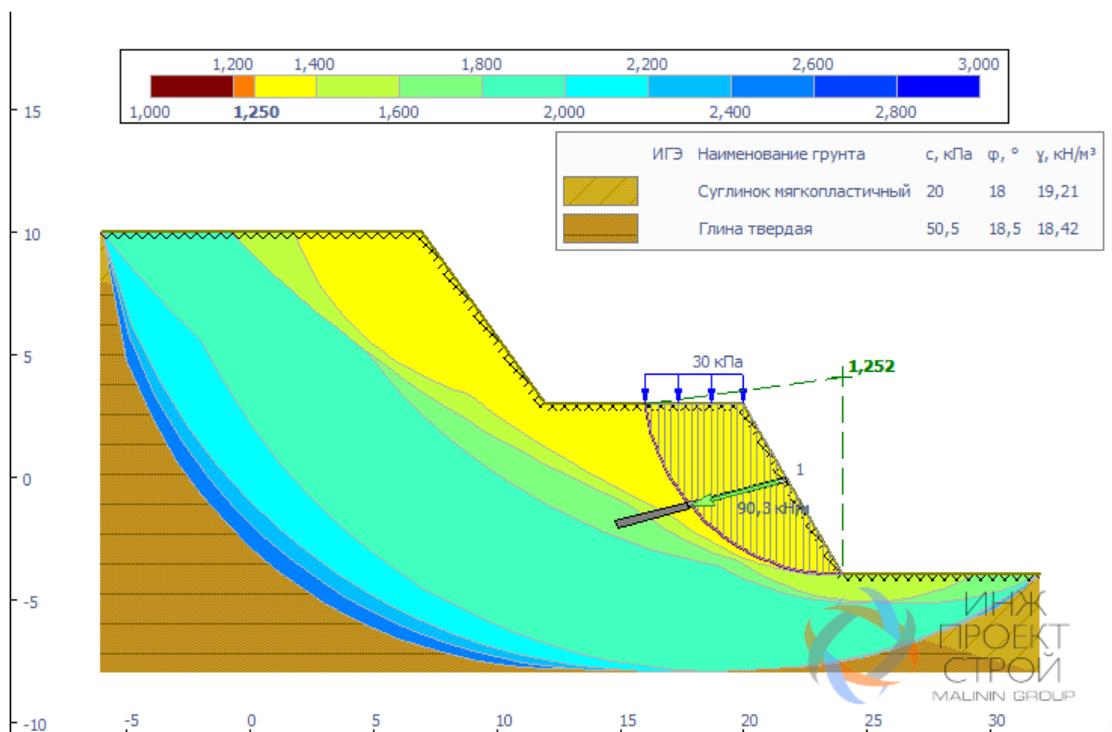
Пунктирная линия огибает участки склона, содержащие призмы с недопустимым коэффициентом устойчивости.

Для укрепления нижнего уступа установим анкерный ярус.

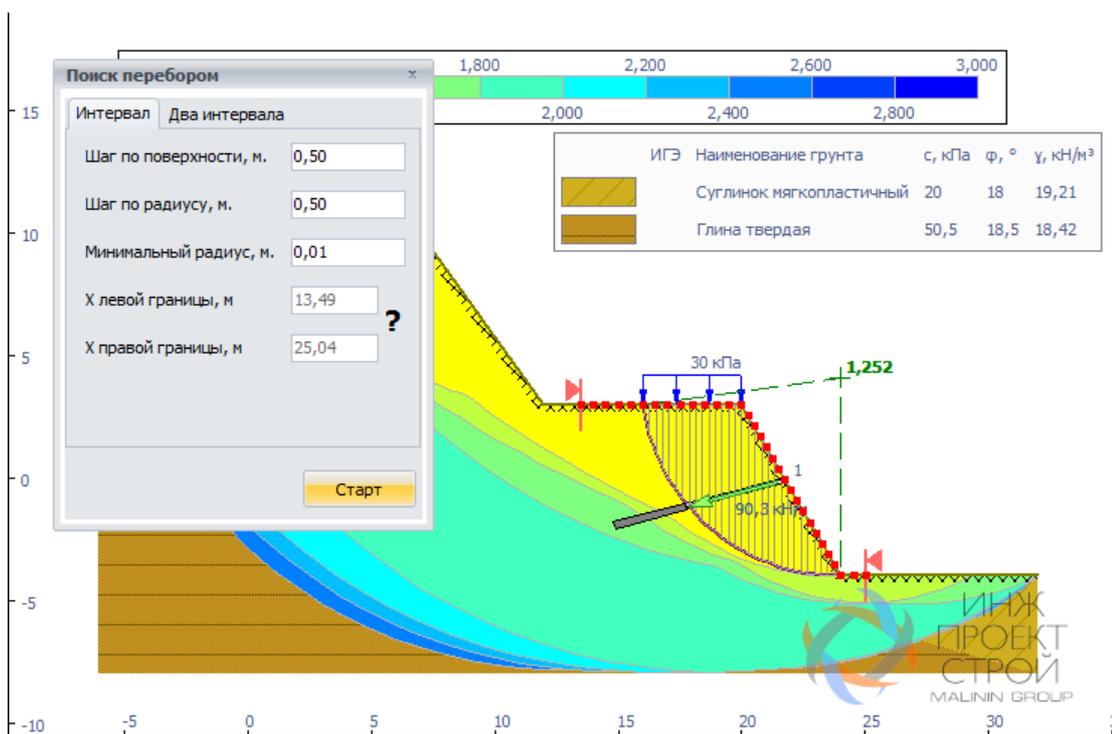
Для этого перейдем на вкладку "Исходные данные" и включим режим создания единичного анкера (кнопка  в группе "Анкеры" на вкладке Ленты "Исходные данные").

С помощью мыши отметим точку устья анкера на расстоянии 3,5 м от угловой точки. Корень выведем за границу области с коэффициентом устойчивости ниже 1,2. Параметры сцепления оставим по умолчанию.

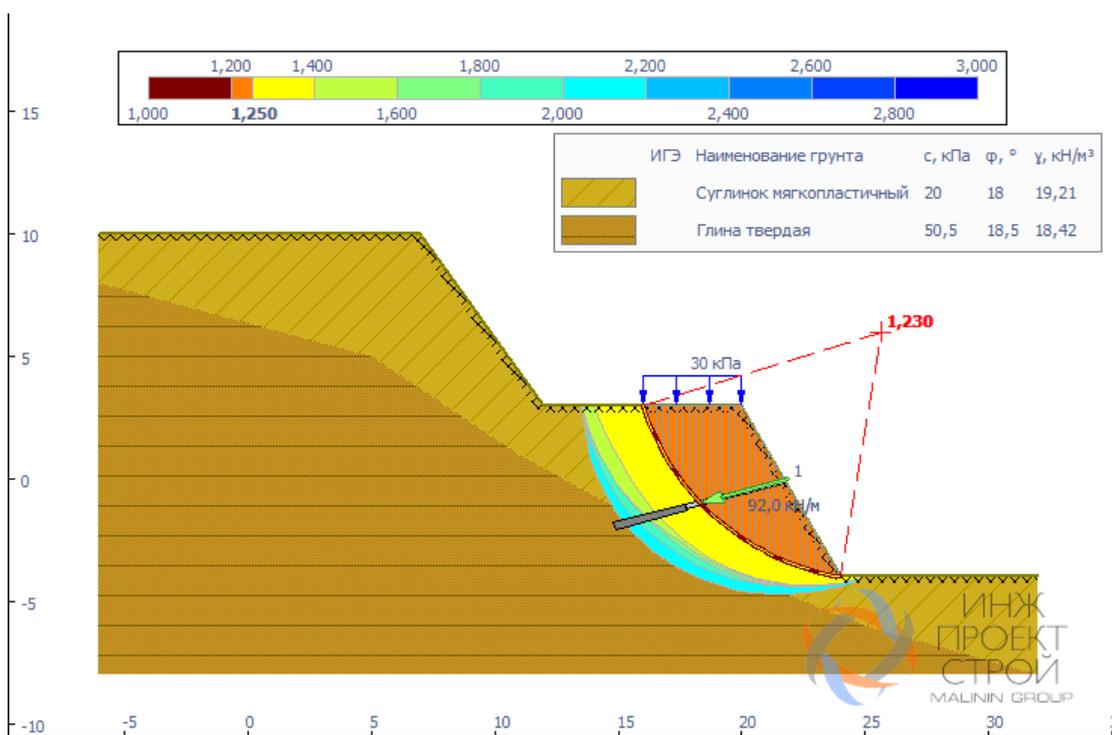
Выполним повторно "грубый" анализ.



Для более точного анализа активизируем режим "Настраиваемый перебор". С помощью мыши переместим маркеры границ и зададим параметры, как показано на рисунке



Более подробный анализ выявил существование призм с коэффициентом устойчивости менее допустимого.



Перейдя на вкладку "Исходные данные", переместим с помощью мыши анкер ниже по склону на 1 м. Дальнейший подробный перебор и оптимизационный поиск не выявляют в рассматриваемом участке призм с недопустимым коэффициентом устойчивости.

