

Скальный откос – плоская поверхность скольжения

Программа: Скальный откос

Файл: Demo_manual_29.gsk

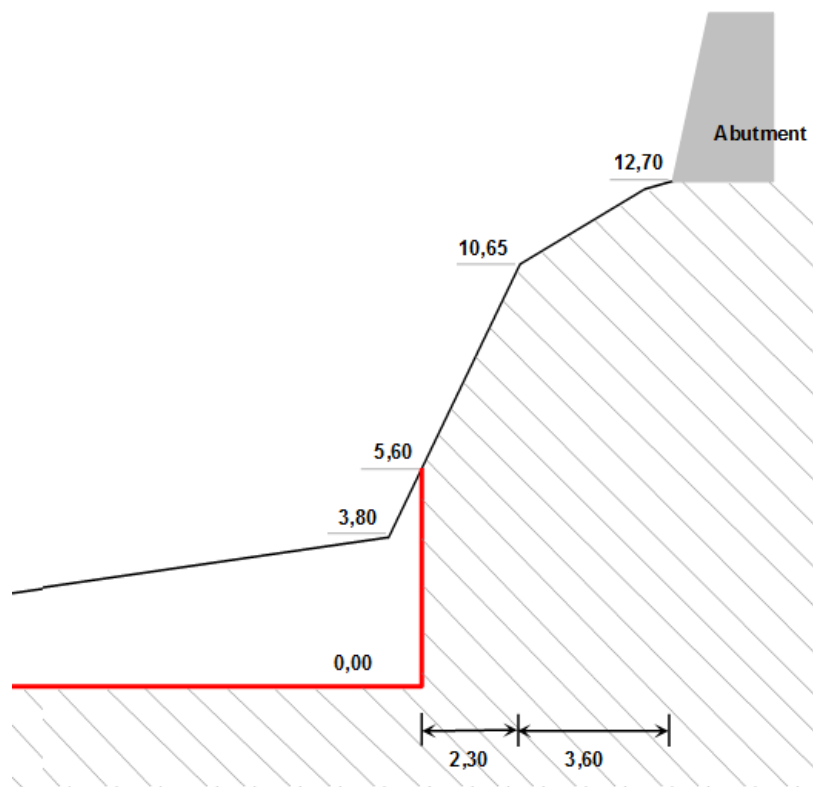
В настоящем техническом руководстве описано, как определить устойчивость скального откоса, образованного metabazальтами, по выбранному поперечному сечению (с левой стороны интересующей области). Расчётный скальный выступ создается путём вырубки в существующем устойчивом скальном откосе. Ранее у подножия скального откоса стоял многоквартирный дом, а по верхнему краю откоса проложена дорога. Предыдущие геоизыскания и результаты текущего гидрогеологического обследования включают описание неоднородности системы и прочности породы.



Вид на скальный откос – анализируемое поперечное сечение

Проектное задание

Требуемый коэффициент запаса равен 1,5, поскольку устойчивость скального откоса рассчитывается на длительное время. Если коэффициент запаса меньше 1,5, его необходимо стабилизировать. Оценка устойчивости откоса и проектирование защитного сооружения проводятся для выбранного поперечного сечения после завершения земработ.



Расчётное поперечное сечение с выделенной красным цветом подрезкой склона

На основе геоизысканий и архивных данных были определены следующие геотехнические параметры массива горных пород (метабазальт):

Удельный вес породы $\gamma = 26 \text{ кН/м}^3$

Эффективный угол трения $\varphi' = 43^\circ$

Эффективное сцепление $c' = 423 \text{ кПа}$

Средняя прочность породы при сжати без ограничений была определена путем измерения на месте (склерометр или молоток Шмидта) и составляет 60 МПа.

Грунтовых вод при гидрогеологических изысканиях не обнаружено. Скопления воды у подножия откоса связаны только с поверхностными стоками в дождевой период.

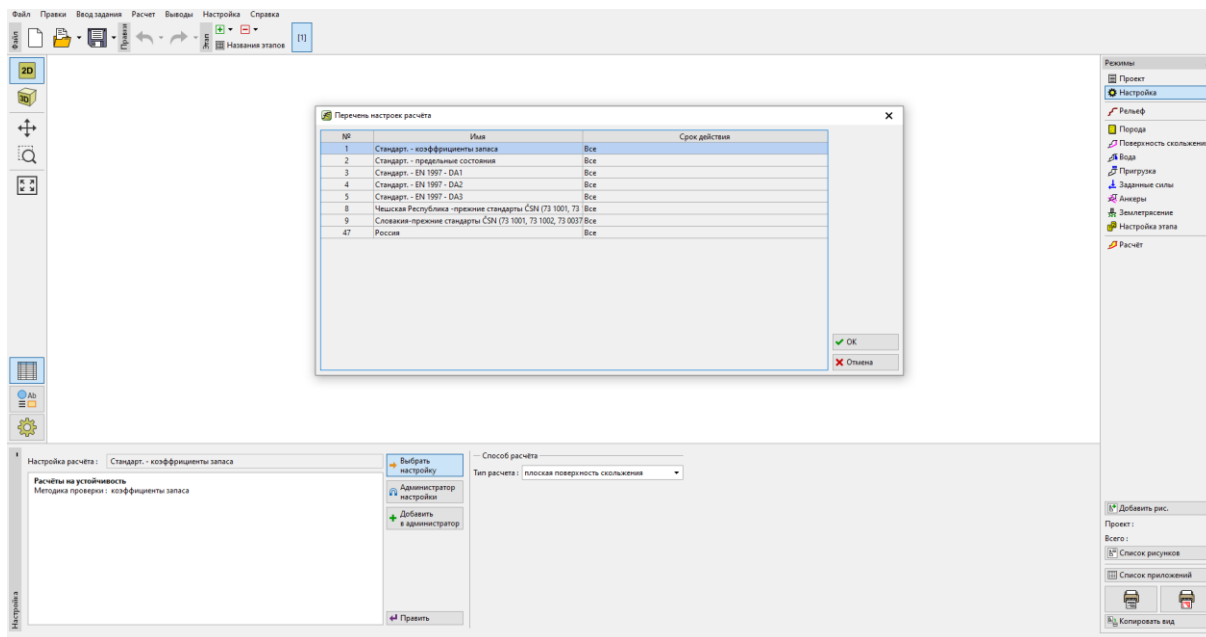
Решение

Для решения этой задачи мы будем использовать программу GEO5 «Скальный откос». Расчёты устойчивости скального откоса по анализируемому поперечному сечению будут выполнены в соответствии с коэффициентами запаса (с последующей проверкой расчётами вручную и методом конечных элементов). Далее мы последовательно объясним решение данного примера с описанием задачи, непосредственно самими расчётами и выводами.

Постановка задачи

1) Настройки требуемого расчёта в соответствии с коэффициентами запаса и выбором типа разрушения скального откоса.

Во вкладке «**Настройка**» нажать на «Выбрать настройку», а затем выбрать пункт № 1 – «Стандартные коэффициенты запаса» и нажать «ОК».



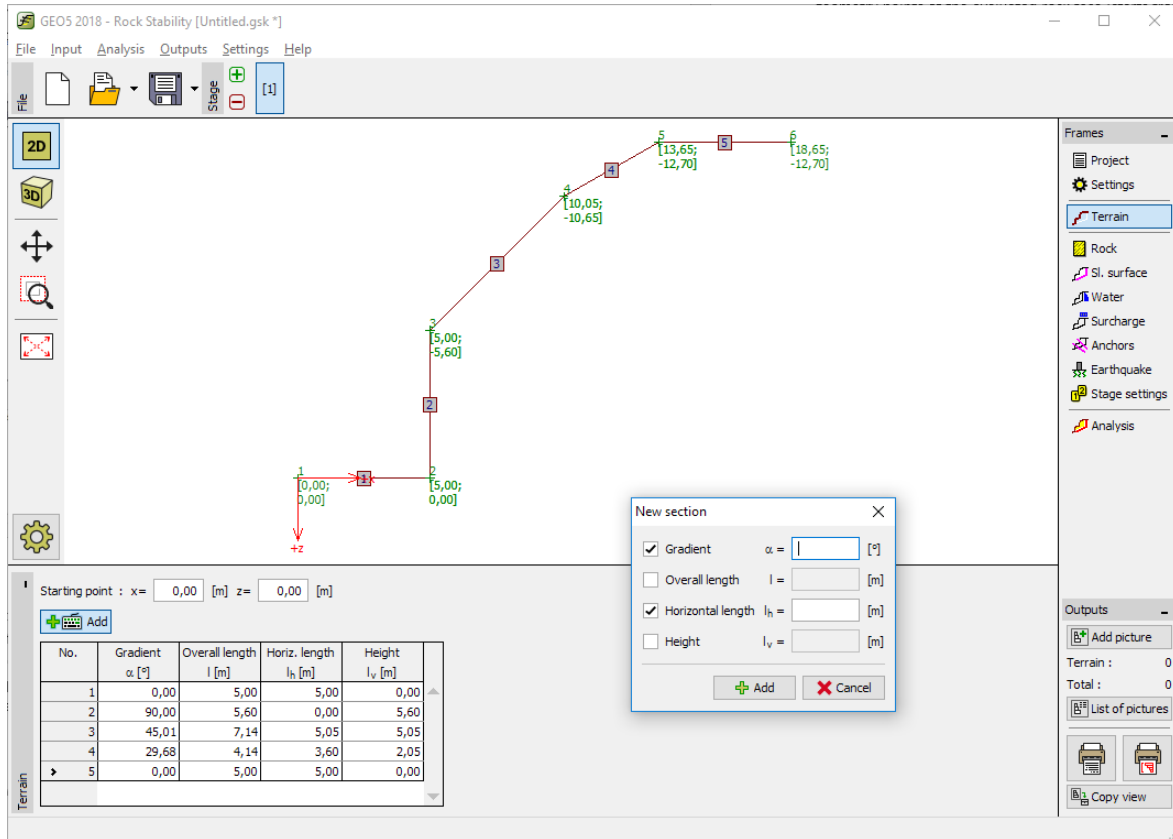
Диалоговое окно «Настройка»

В данной вкладке предлагается выбрать метод расчёта. Программа «Скальный откос» позволяет произвести предварительный расчёт разрушения скального откоса с помощью скольжения по плоской или полигональной поверхности скальной стены. Определение опасной плоскости скольжения по массиву горной породы в большинстве случаев затруднительно и требует консультаций со специалистами по геологии. В нашем случае горный массив имеет неоднородную структуру и может быть учтено разрушение вдоль плоскости сдвига, наклоненной к горизонтали под углом $45^\circ + \varphi^*/2$ (φ^* - угол прочности породы на сдвиг). Поэтому следует выбрать тип расчета: **плоская поверхность скольжения**.

2) Ввод отметок поверхности рельефа и конфигурации скального откоса

Во вкладке «Рельеф» осуществляется ввод отметок поверхности земли и конфигурации скального откоса. Прежде чем вводить профиль, можно изменить исходные значения по умолчанию (начальная точка). Наилучшим вариантом для настройки геометрии является использование нижней части скального откоса или точки, расположенной на небольшом расстоянии на отметке земли у подножия скалы. В нашем случае начало геометрии лежит на горизонтальной местности на расстоянии 5 м у подножия откоса, с координатами по умолчанию ($x = 0, z = 0$).

Во вкладке «Рельеф» нажать на кнопку «Добавить», после чего отобразится диалоговое окно для добавления геометрии поверхности скалы (отсчёт производится от начала координат). Можно ввести сечения, используя комбинации параметров, определяющих геометрию сечения: угол наклона, полная длина, горизонтальная длина и высота. Программа автоматически вычисляет необходимые значения.



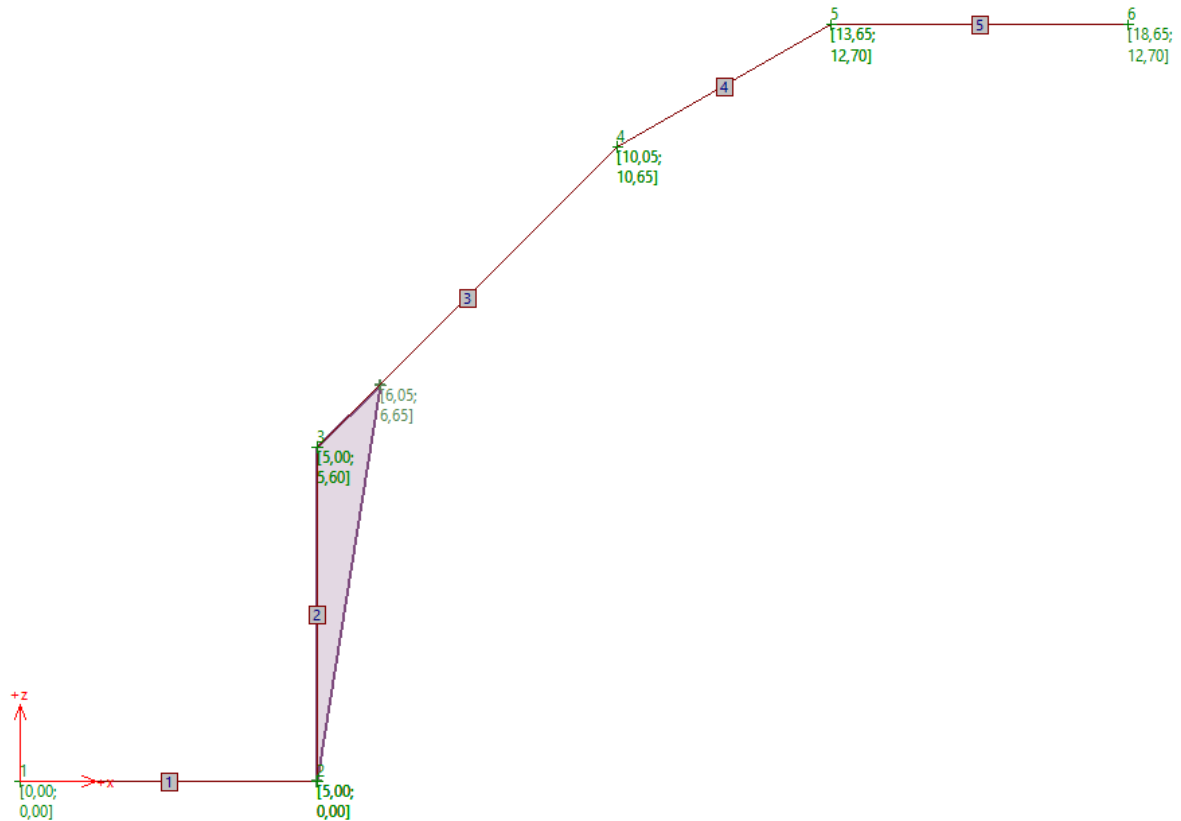
Ввод отметок поверхности земли и конфигурации скального откоса во вкладке «Рельеф»

Ввести профиль скального откоса по координатам, выбранным из расчётного поперечного сечения:

Номер сечения	Угол наклона α [°]	Полная длина l [m]	Горизонтальная длина l_h [m]	Высота l_v [m]
1	-	-	5,0	0,0
2	90	-	-	5,60
3	-	-	5,05	5,05
4	-	-	3,60	2,05
5	-	-	5	0,0

Ввод отметок поверхности рельефа (входные данные)

Программа отображает рельеф местности в графическом окне. Вкладка «Рельеф» показывает таблицу с введёнными секциями.



Отображение конфигурации скального откоса в графическом окне

3) Ввод параметров горной породы

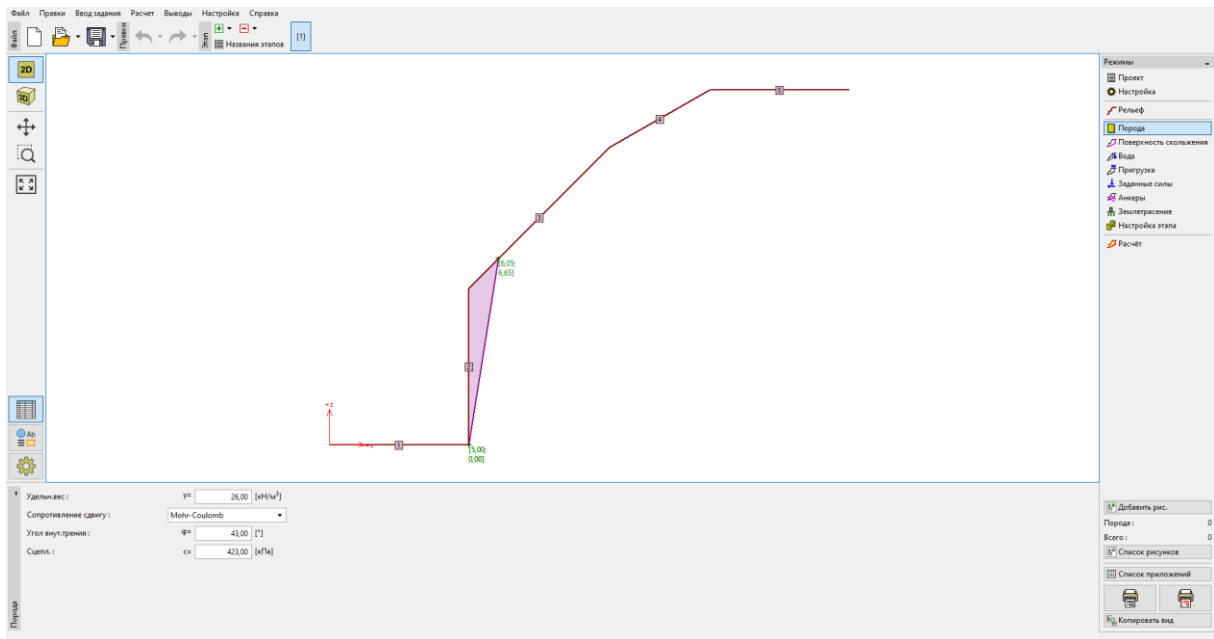
Во вкладке «Порода» ввести свойства массива горных пород с уклоном (параметры материала). На основании геоизысканий были определены удельный вес породы и параметры сдвига по критерию прочности Мора-Кулона (Mohr-Coulomb):

Удельный вес породы $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$

Эффективный угол трения $\varphi = 43^\circ$

Эффективное сцепление $c_{ef} = 423 \text{ kPa}$

Примечание: программа также позволяет настраивать параметры грунта в соответствии с критериями разрушения Бартона-Бандиса (Barton-Bandis) и Хука-Брауна (Hoek-Brown).



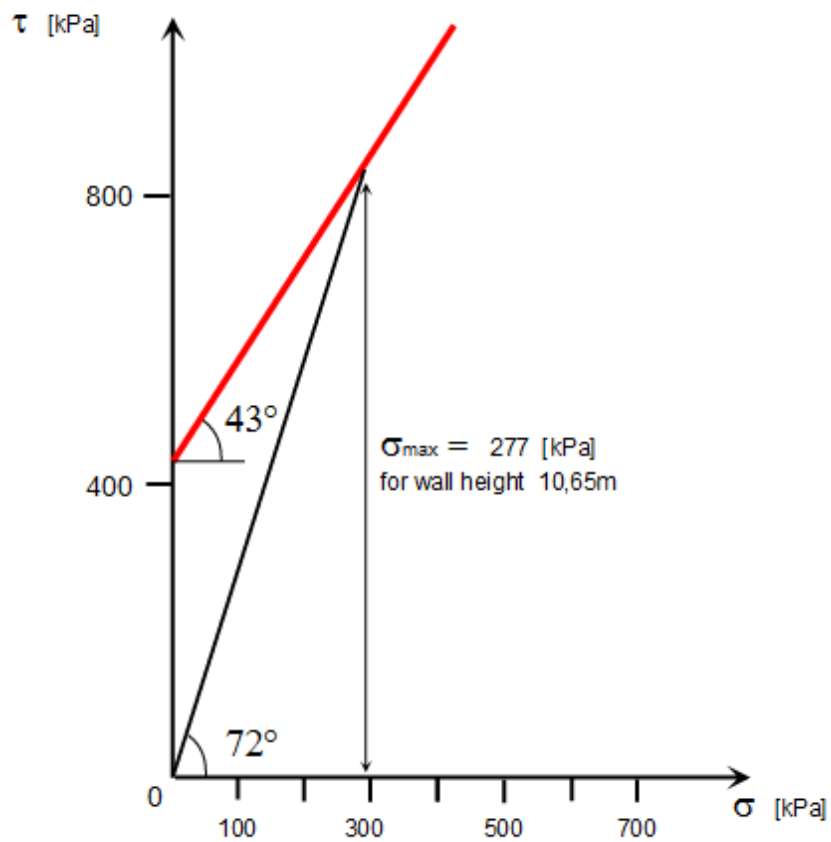
Вкладка «Порода»

4) Ввод геометрии разрушения при сдвиге и её свойств

Плоскость разрушения при сдвиге и её свойства задаются во **вкладке «Поверхность скольжения»**. Из геоизысканий известно, что плоскость сдвига поверхности будет начинаться под углом $45^\circ + \varphi^* / 2$ от горизонта. Угол прочности скального грунта на сдвиг не является постоянным, но зависит от напряженного состояния массива породы и может быть графически определен по углу трения, рассчитанному как касательная к нелинейной огибающей кругов Мора. Поэтому требуется определить его значение для расчётного откоса. В первую очередь надо определить нормальное напряжение в нижней части стены σ_{\max} . Это показывает, что активная высота стен равна $h = 10.65$ м. Таким образом,

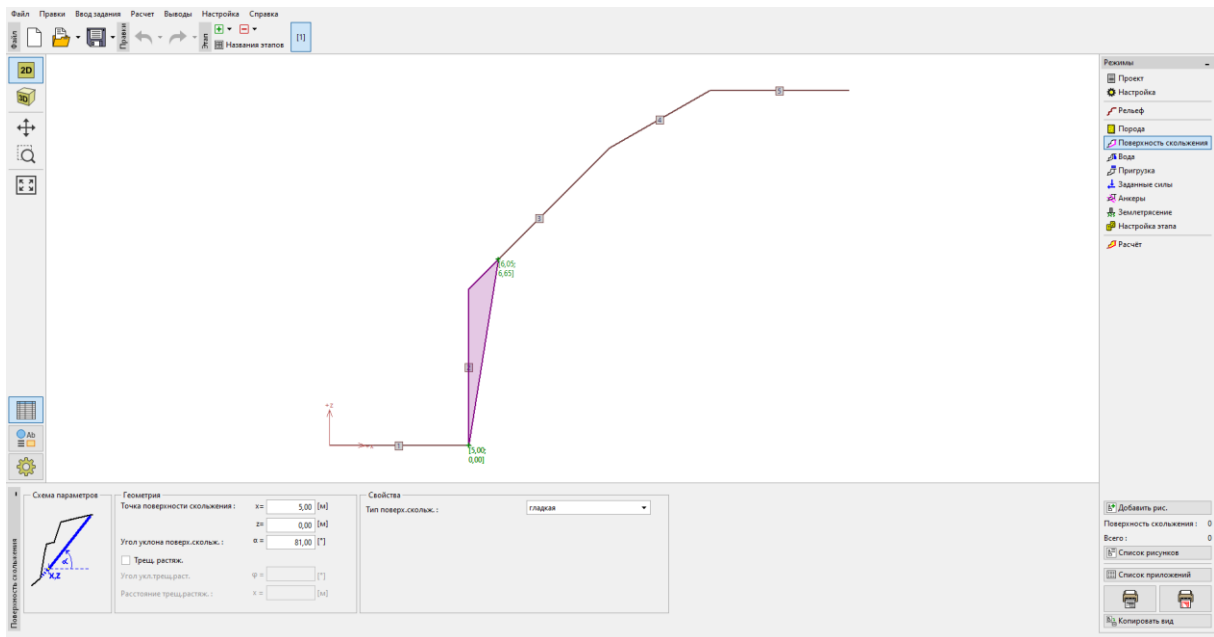
$$\sigma_{\max} = \gamma \cdot h_a = 26 \cdot 10,65 = 277 \text{ кПа.}$$

Из геоизысканий известно эффективное сцепление скального грунта $c' = 423$ кПа и средняя прочность на сжатие 60 МПа. Максимальное нормальное напряжение $\sigma_{\max} = 277$ кПа меньше, чем пиковая прочность метабазальта, поэтому можно определить угол сдвига скального грунта по графическому представлению огибающей Мора $\varphi^* = 72^\circ$ (в первом интервале напряжений). Уклон поверхности разрушения при сдвиге, рассчитанный от горизонта, равен углу $45^\circ + \varphi^* / 2 = 45 + 72/2 = 81^\circ$.



Линия максимальной прочности скального откоса на сдвиг

Наклон плоскости разрушения при сдвиге составляет $\alpha = 81^\circ$ а начальная точка поверхности (нижняя часть склона) будет иметь координаты $x = 5.0\text{m}$, $z = 0.0\text{m}$. Характер плоскости сдвига будет задан по умолчанию (гладкая), поскольку у нас нет подробной информации о поверхности сдвига (дилатансия).



Ввод поверхности скольжения во вкладку «Поверхность скольжения»

5) Влияние грунтовых вод

Влияние грунтовых вод указано во **вкладке «Вода»**. Водоносного горизонта обнаружено не было, поэтому следует сохранить настройки по умолчанию - без расчёта воздействия грунтовых вод.

6) Ввод пригрузки

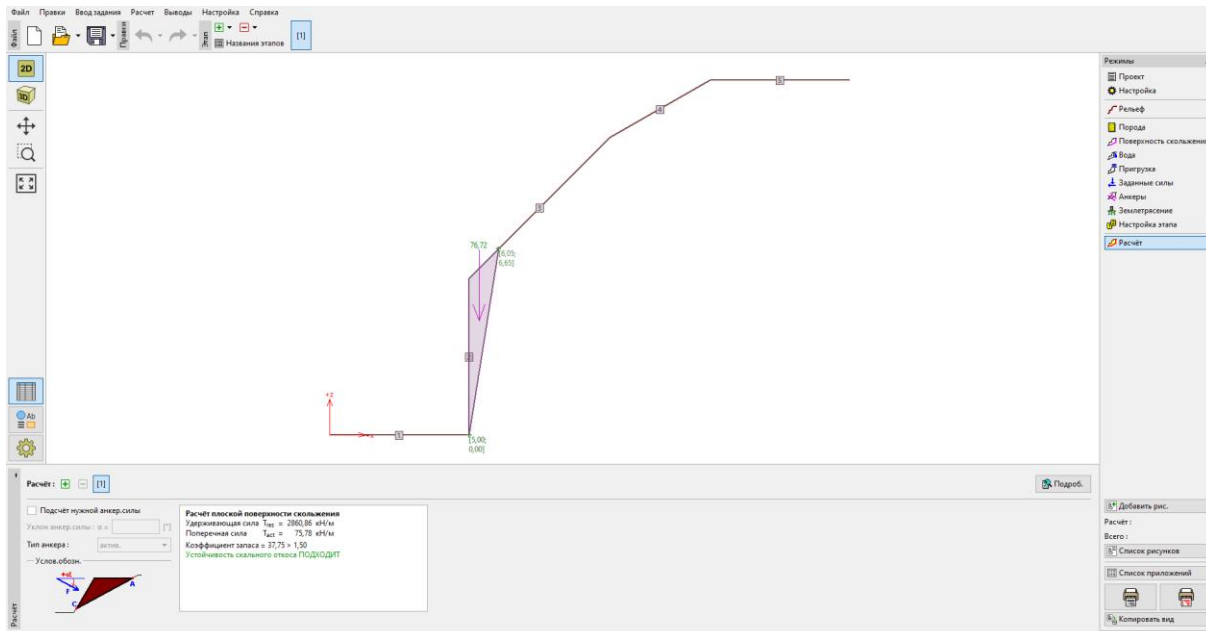
Во **вкладке «Пригрузка»** можно ввести нагрузку, действующую на скальный откос и конфигурацию рельефа. На краю скального откоса расположены железобетонная гравитационная стена и дорожное покрытие. Эта пригрузка не обязательно учитывается в расчёте, поскольку пригрузка не действует на активный скальный массив.

7) Настройка расчётных случаев

Во **вкладке «Настройка этапа»** можно выбрать подходящий расчётный случай. В данном примере мы определяем коэффициент запаса земляных работ на откосе, исходя из срока службы конструкции, поэтому выбираем постоянный расчётный случай.

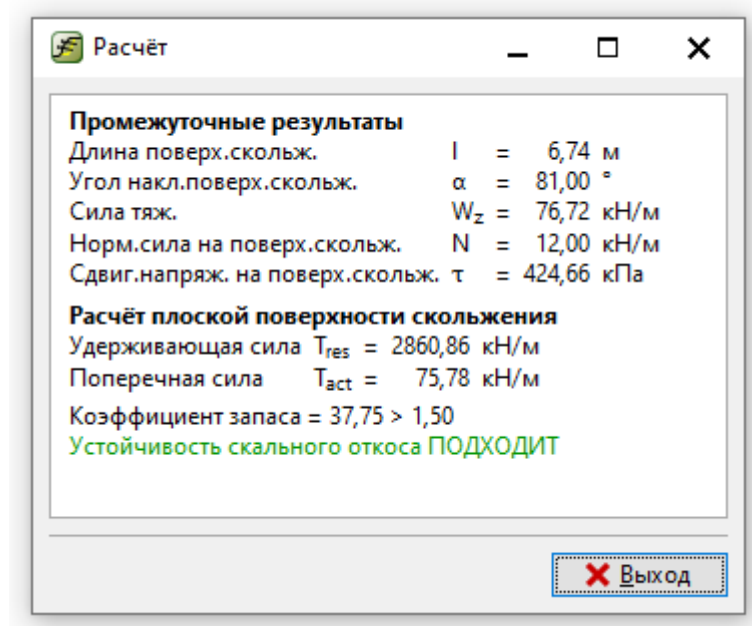
Расчёт

Основные результаты и иные доступные опции появятся во вкладке «Расчёт». Для текущего случая, основанного на коэффициенте запаса $F = 37.75 \gg 1.5$.



Вкладка «Расчёт»

Подробные результаты расчёта можно получить, нажав на значок "Подробно" или в распечатке.



Подробный перечень результатов во вкладке «Расчёт»

Вывод

В данном примере получен коэффициент запаса $FS = 37.75 \gg 1.5$. Это означает, что долговременная устойчивость анализируемого скального откоса удовлетворяет требованию коэффициента запаса 1.5 и не требует дополнительных мероприятий для повышения его устойчивости. В случаях, когда вода поступает в неоднородные системы и вызывает изменение состояния скального откоса, это не важно по следующим причинам:

- метабазальт является твердой породой и не подвержен значительному воздействию отдельности (т.е. не изменяет параметров сдвига) и, кроме того, упомянутые отдельности не содержат какого-либо заполняющего материала
- уровень грунтовых вод теоретически может подняться до верхнего уровня активного скального массива (фактически будущего сооружения). Такой уровень грунтовых вод может максимально снизить расчётный коэффициент запаса. Это проверяется расчётным путём ($FS = 30.58$).
- для нереалистичного уровня грунтовых вод на краю скального откоса коэффициент безопасности должен составлять = 20.32