

## Скальный откос – устойчивость клина скального грунта

Программа: Скальный откос

Файл: Demo\_manual\_28.gsk

Цель этого технического руководства состоит в том, чтобы рассмотреть устойчивость скального откоса, расположенного в полускальном массиве с сейсмическим воздействием в вырытом котловане.

Рассматриваемое обнажение котлована образовано системой тектонических разломов и стыков, в пространстве (в 3D) окруженных в основном неустойчивыми скальными клиньями.

### Описание задачи

История обнажения породы связана с земляными работами во время строительства двухпутного железнодорожного туннеля Вотице, пробитого в нетронутой палеозойской породе. Имеются структурные швы, заполненные микрогранитами, аплитами и другими амфиболитно-биотитовыми гранитами (наиболее распространенные типы горных пород).

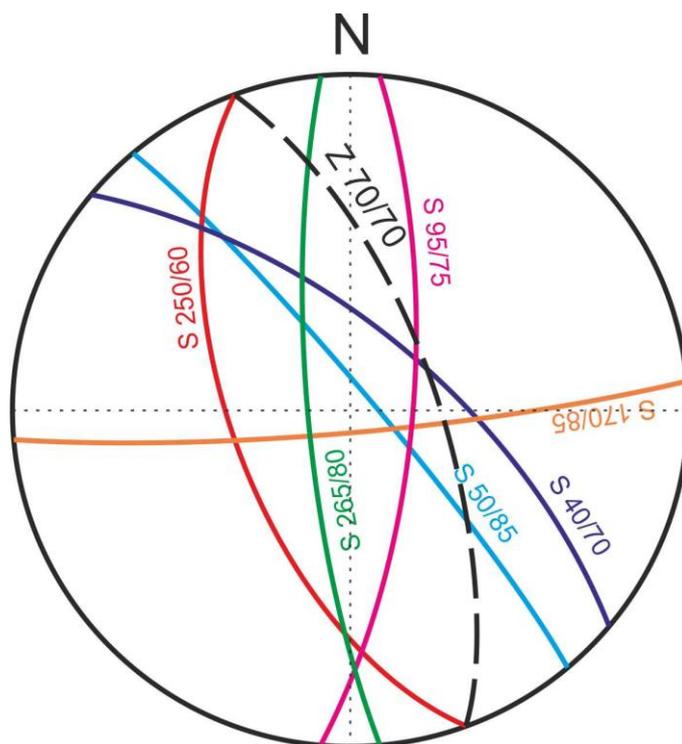
Оцененное обнажение является типичным с непредсказуемой ориентацией плоскостей сдвига, эти плоскости влияют на устойчивость выступа породы и образуют скользящие скальные клинья (Рис. 1).



Рисунок 1: Западный склон котлована, фото L. Marik

Геологические изыскания показали, что на устойчивость выемки влияют три-четыре системы разломов и стыков. Скальный массив раздроблен на множество скальных камней и блоков, а также на широкие валуны размером до нескольких метров.

Направление разлома вглубь скальной породы образует острый угол меньше 45 градусов с откосом выемки, а откос опускается под углом от 65 до 80 градусов к востоку (Рис. 2).



*Рисунок 2: Диаграмма ортогональной проекции Ламберта с наиболее распространенными нарушениями сплошности, Z 70/70 (направление уклона/уклон) есть ориентация скальных поверхностей выемки*

Эта неправдоподобная ориентация разрывов повлияла на проект земляных работ, так как есть широкие неустойчивые каменные клинья, сползающие вниз по склону (рис. 3). Невозможность подобного ориентирования была неожиданной еще до начала работ по экскавации.

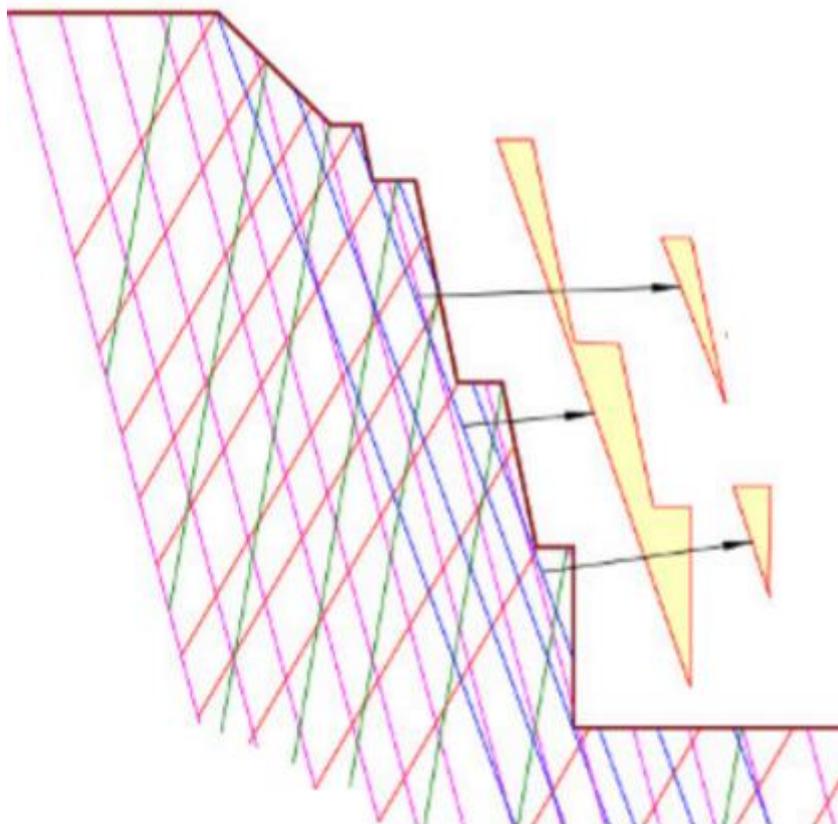


Рисунок 3: Основные плоскости сдвига и стыка с дном котлована в поперечном сечении

Эта нереальная ситуация с уклоном выемки вынуждает к проектированию некоторых стабилизирующих конструкций – конструкций активной стабилизации горных пород-клиньев. Стабилизация скользящего скального клина описана в данном техническом руководстве.

*Примечание: Каждый природный скальный массив (при воздействии человека) содержит по меньшей мере две основные системы разрывов, влияющие на устойчивость скального откоса. Однако, когда скальный массив разбит на небольшое количество систем разрывов, система является краеугольным камнем для оценки глобальной устойчивости механизма разрушения и ситуации неустойчивости.*

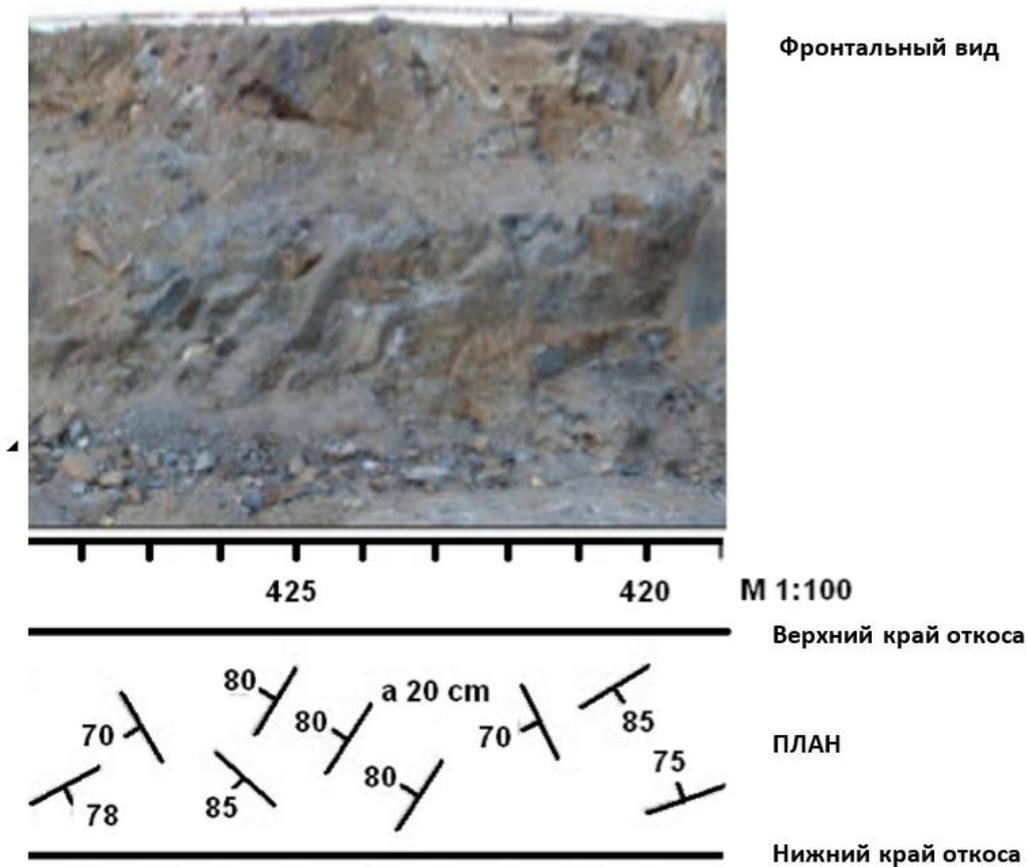
## Настройка

Процесс проектирования стабилизации 3D-клина скального клина описан ниже на примере выбранного поперечного сечения выемки портала тоннеля. Стабилизация рассчитана на 100-летний срок службы, а требуемый коэффициент безопасности составляет 1,5.

На основании геологических изысканий образцы гранита и аплита классифицированы как твердые типа R2 и R3 (ČSN 73 6133), имеющие следующие механические характеристики:  $\sigma_c = 15 - 60$  МПа, удельный вес  $\gamma = 27$  кН/м<sup>3</sup>, эффективный угол внутреннего трения  $\varphi' = 32 - 42$  °, эффективное сцепление  $c' = 100 - 150$  кПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0.20$ , модуль деформации

100 – 200 МПа. Следовательно, здесь несколько механических параметров, показывающих высокие деформационные характеристики массива горных пород, измеренные на образцах горных пород небольшого размера, общая прочность массива ниже из-за высокой трещиноватости при сдвиговых разрушениях (эффект размера). Прочность на сдвиг на плоскостях может сводиться к нулю.

Гидрогеологический фон показывает только простые условия, и там нет водопоглощающего стыка поверхности породы. Случайные влажные весны связаны с более высокой дождевой активностью и таянием снега. Нет никакого уровня грунтовых вод, относящегося к поверхности скалы. Ориентация стыков горных пород была измерена инженер-геологом, проектировщиком. Оцененная ориентация откоса выемки породы равна  $Z 180/15$  (направление падения/провал), а исследованные типичные ориентации провалов составляют  $20/80$  и  $225/70$ . Прочность на сдвиг, измеренная в плоскостях сдвига, составляет  $\varphi' = 15^\circ$ , а сцепление  $c' = 5$  кПа.



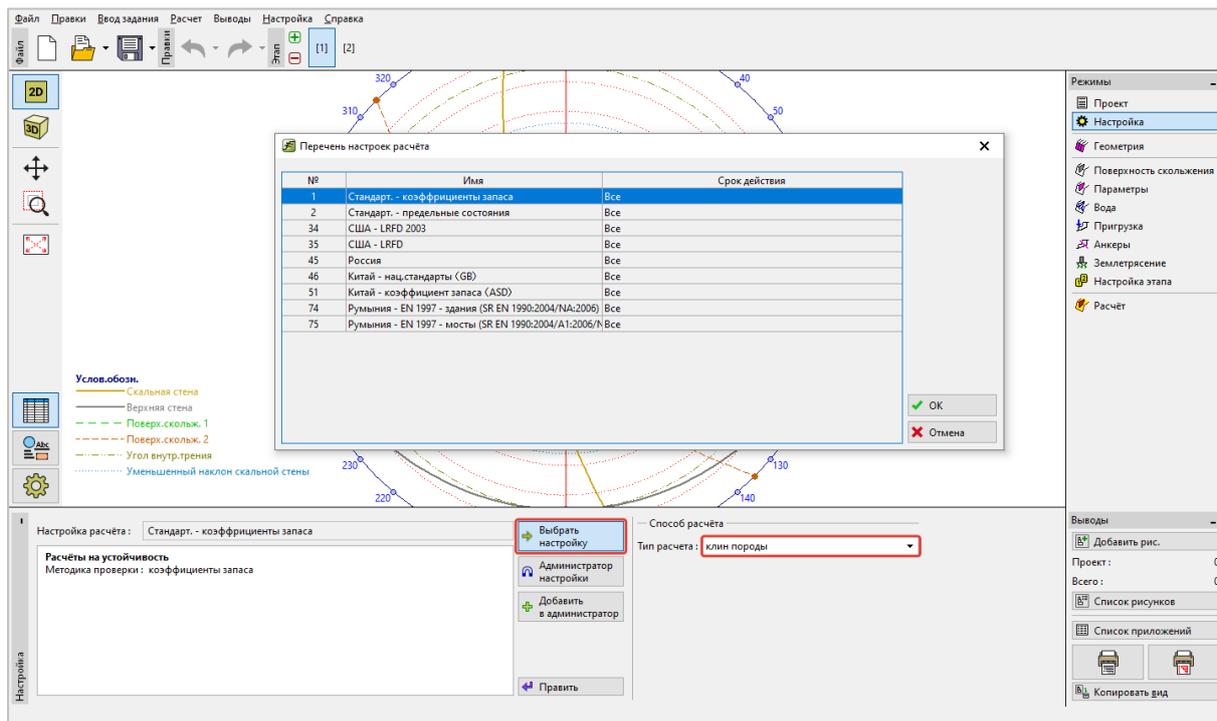
## Решение

Оценка устойчивости откоса сползающего клина породы в выбранном поперечном сечении и его стабилизация должна быть выполнена с коэффициентом запаса (основная причина – это сравнение с ручным расчетом). Каждый шаг проектирования описан в тексте ниже.

## Настройка задачи

Настройки требуемых вычислений, соответствующих коэффициенту запаса и разрушению скального откоса

В окне “Настройка” выберем “Перечень настроек расчета” и “Стандарт – коэффициенты запаса”, подтвердим нажатием “ОК”.



Окно “Перечень настроек расчета” в меню “Настройка”

Также выберем тип расчета: “клин породы”

*Примечание: Программа Скальный откос может оценить обрушение скальной стены при сдвиге по плоской поверхности, полигональной или как клина породы.*

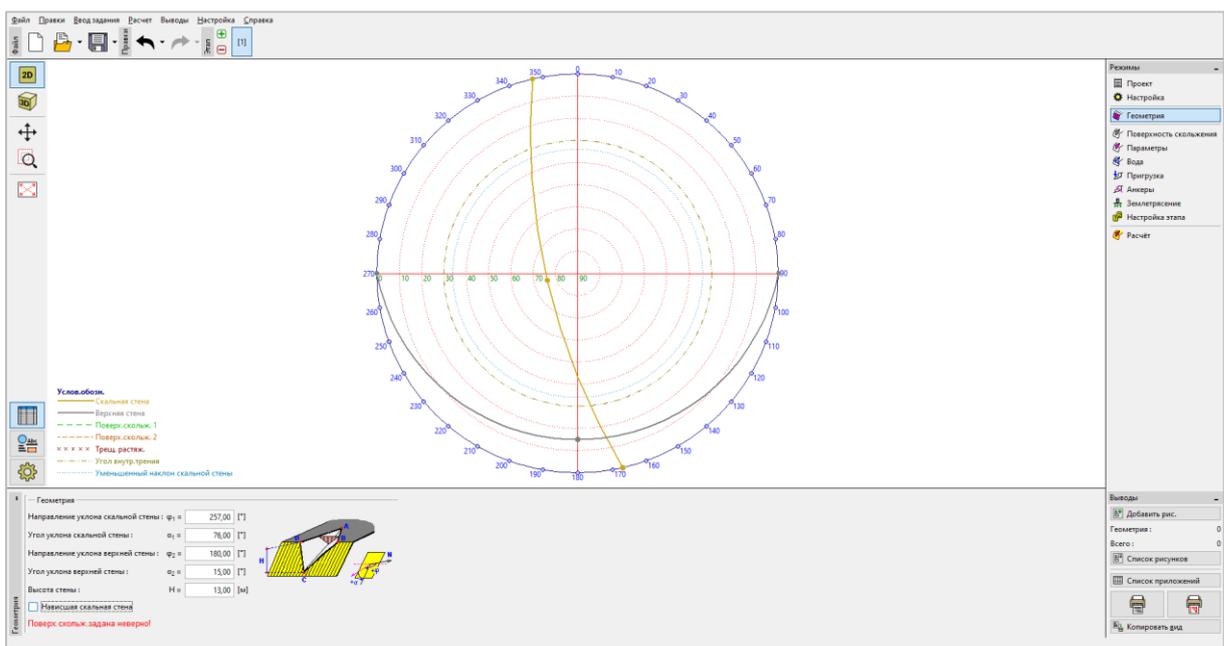
## Базовая геометрия поверхности и очертания откоса

3D геометрия оцениваемого откоса (рельефа) и выемка котлована (скальная часть) должны быть заданы во вкладке “Геометрия”. Ввод данных для откоса или ориентация поверхности рельефа происходит путем задания направления уклона/уклона, эти данные были получены измерением во ходе структурных геологических изысканий – введенные данные представлены в таблице. Высота откоса 13 м. Введенные поверхности показаны в ортогональной проекции Ламберта и дуга представляет собой проекцию (пересечение) плоскости сдвига на нижнюю полусферу Ламберта.

*Примечание: В случае, если не предоставлены структурные геологические изыскания, 3D ориентация скальной поверхности может быть задана из геодезической съемки по трем точкам для каждой плоскости (например, двум в нижней части откоса, одной в верхней части). Другая возможность – использование измерительной ленты или фотограмметрии. В крайне сложных условиях есть вариант оценить высоту склона как соотношение между ростом человека и высотой откоса.*

## Настройка ориентации (поверхность рельефа и породы)

	Направление уклона [°]	Уклон [°]
Скальная порода	257	76
Рельеф (верхняя линия откоса)	180	15



Вкладка “Геометрия”

## Ввод ориентации поверхности скольжения

3D ориентация (геометрия) обрушения при сдвиге должна быть задана во вкладке “Поверхность скольжения”. Ввод ориентации поверхности скольжения при обрушении происходит посредством задания направления уклона/уклона и исследуется в ходе структурно-геологических изысканий – введенные данные ниже в таблице. Ввод происходит в графическом окне, показывающем данные по ориентации в ортогональной проекции Ламберта. Дуга показывает пересечение плоскости скольжения с нижней полусферой Ламберта.

## Данные поверхности откоса и геометрии рельефа

	Направление уклона [°]	Уклон [°]
Поверхность скольжения 1	20	80
Поверхность скольжения 2	225	70

**Услов. обозн.**

- Скальная стена
- Верхняя стена
- Поверх. скольж. 1
- Поверх. скольж. 2
- Угол внутр. трения
- Уменьшенный наклон скальной стены

**Геометрия**

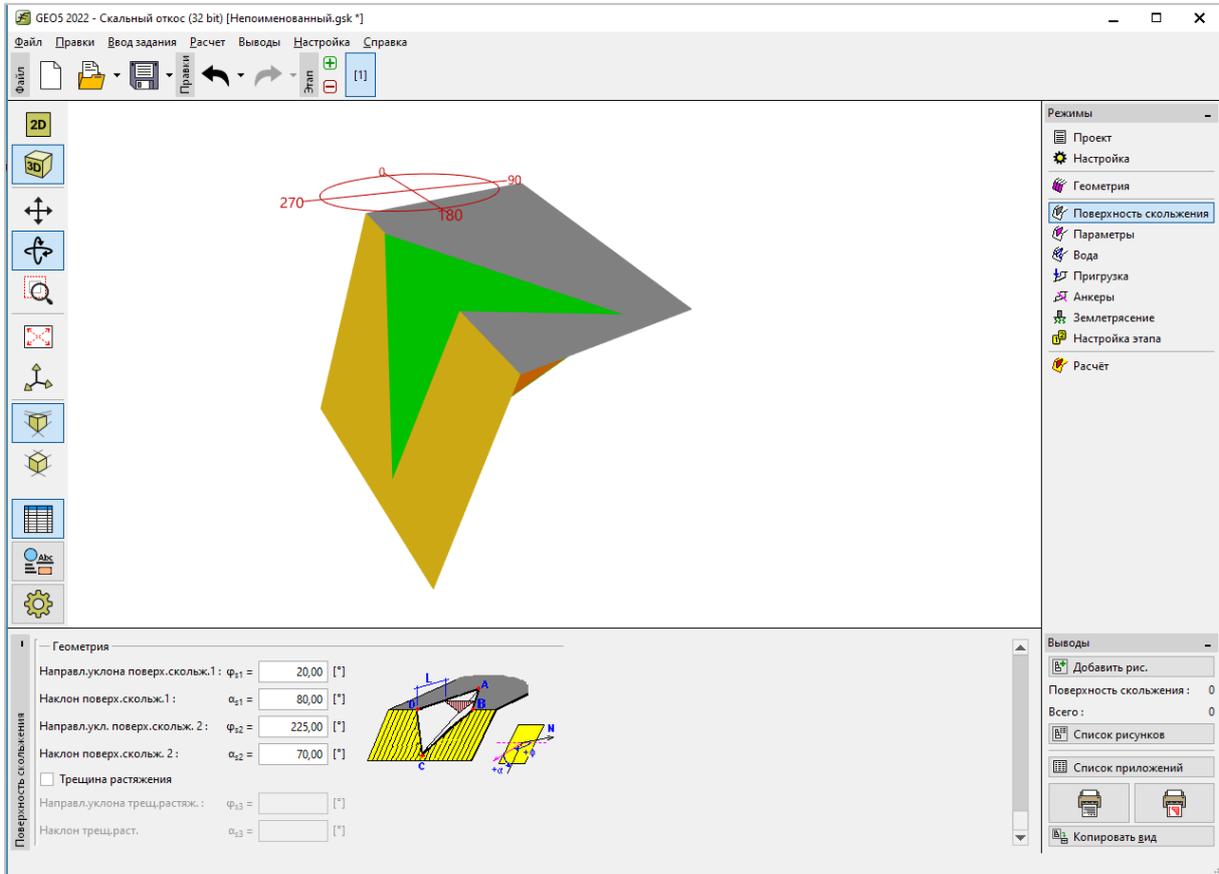
Направл.уклона поверх.скольж.1 :  $\varphi_{s1} = 20,00$  [°]  
 Наклон поверх.скольж.1 :  $\alpha_{s1} = 80,00$  [°]  
 Направл.укл. поверх.скольж. 2 :  $\varphi_{s2} = 225,00$  [°]  
 Наклон поверх.скольж. 2 :  $\alpha_{s2} = 70,00$  [°]

Трещина растяжения

Направл.уклона трещ.растяж. :  $\varphi_{t3} =$  [°]  
 Наклон трещ.раст. :  $\alpha_{t3} =$  [°]

Вкладка "Поверхность скольжения"

Можно посмотреть определенный нами клин грунта с помощью опции “3D вид”.

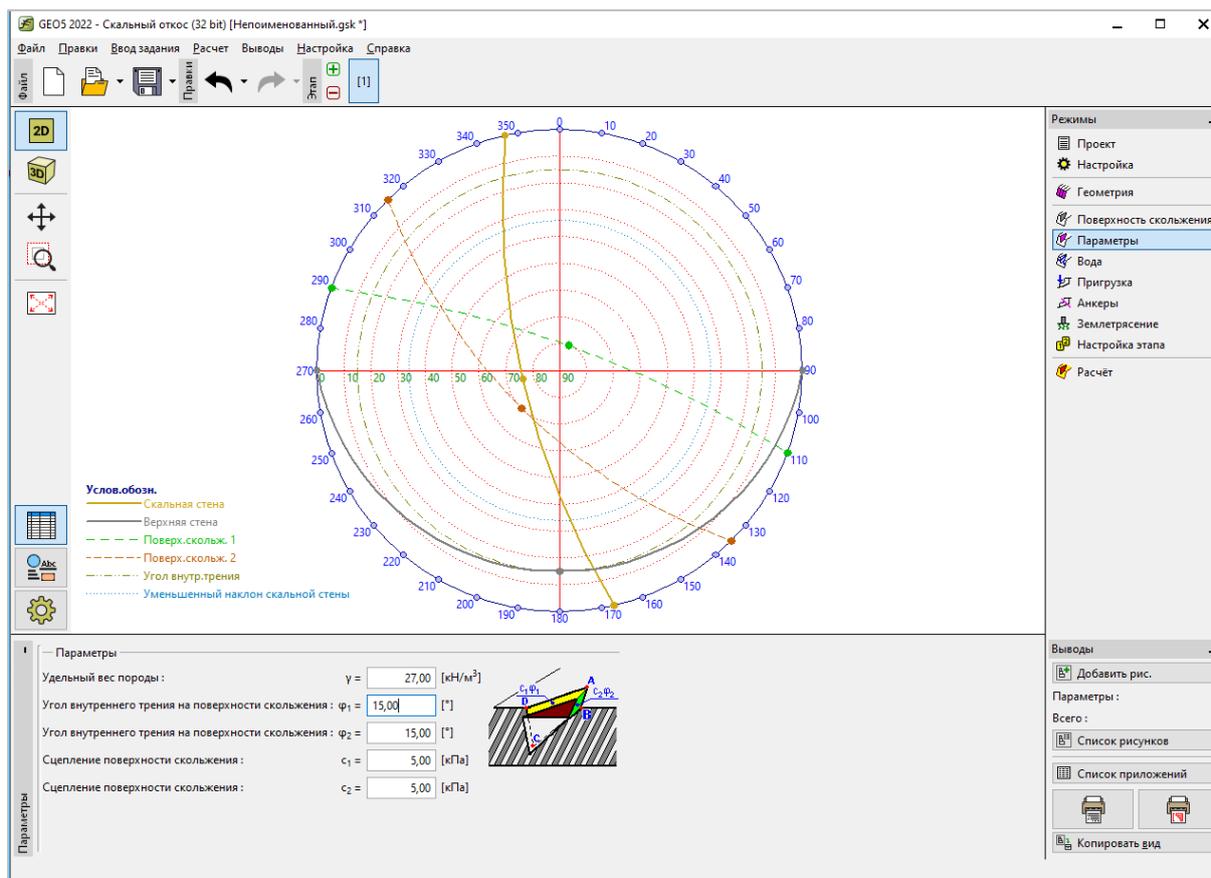


3D вид скального клина в окне 3D

*Примечание: 3D ориентация поверхности скольжения соответствует географическим координатам. Эти координаты соответствуют ориентации на север в горизонтальном направлении и в центр тяжести в вертикальном направлении. Ориентация была измерена с помощью геологического компаса. Основные разрушения могут быть описаны геофизическими измерениями.*

### Ввод породы и свойств плоскостей скольжения

Механические свойства горной породы описываются во вкладке “Параметры”. Это удельный вес материала, составляющего горный массив, и настройка формы поверхности скольжения согласно модели Мора-Кулона (Mohr-Coulomb). Удельный вес гранита  $\gamma = 27 \text{ кН/м}^3$  и свойства при сдвиге, полученные испытаниями на сдвиг для обеих обсуждавшихся ранее поверхностей скольжения, составляют  $\varphi' = 15^\circ$  и  $c' = 5 \text{ кПа}$ .



Вкладка “Параметры”

*Примечание: Самый простой тест на прочность в плоскости сдвига – это перемещение двух блоков породы, взятых из скального массива (разделенных плоскостью сдвига). Это измерение возможно только для плоских поверхностей без каких-либо пиков или углублений (единиц дилатансии). Если поверхность сдвига не является плоской, свойства должны быть получены путем вычисления в выбранном окне или путем сложного испытания in situ (на месте).*

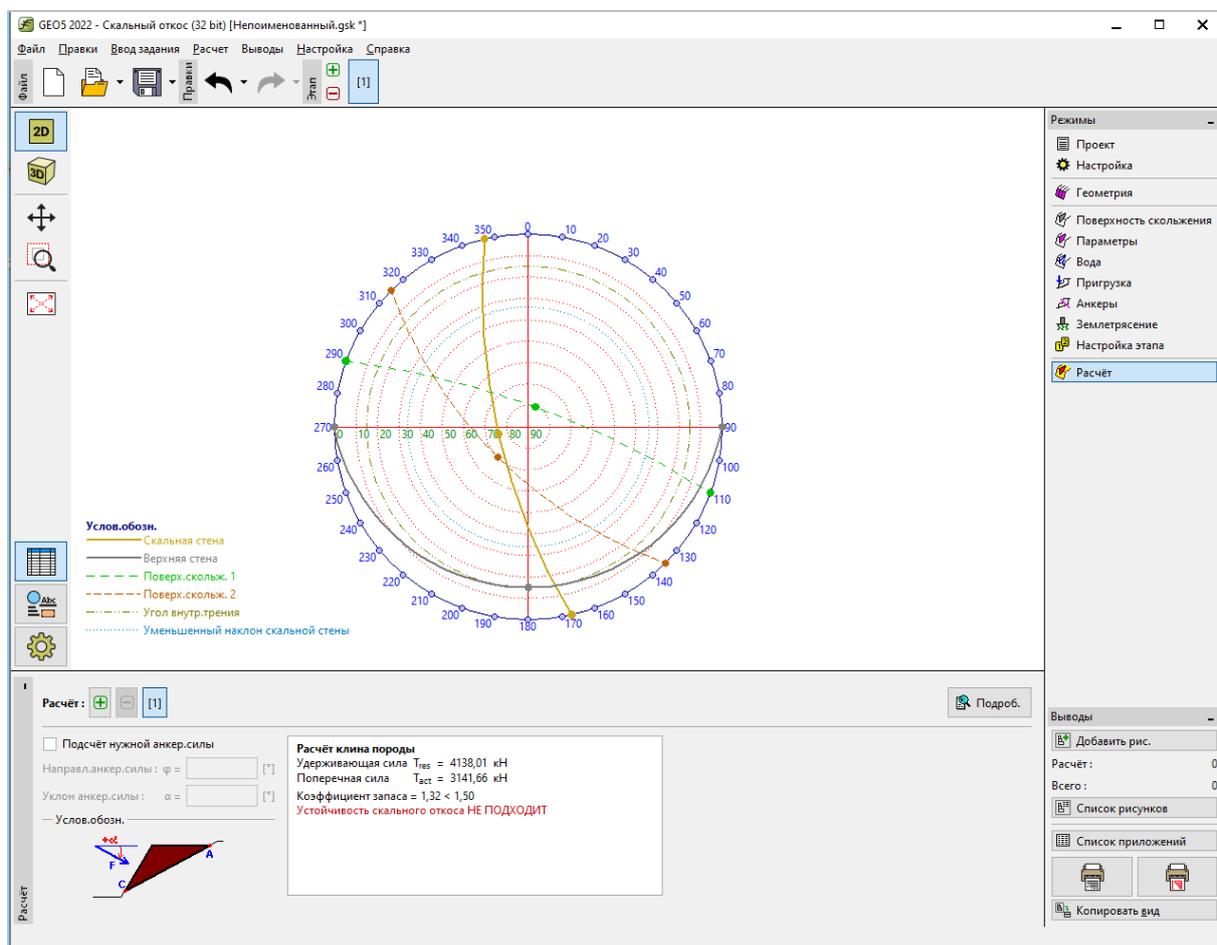
## Подземные воды

Уровень подземных вод настраивается во вкладке “Вода”. На основании гидрогеологических исследований воздействие подземных вод отсутствует.

Во вкладке “Настройка этапа” выбираем проектную ситуацию. В нашем случае при обеспечении 100-летнего срока службы забоя скалы порталной секции туннеля выбрана ситуация как постоянная.

Процесс вычисления запускается нажатием кнопки “Расчет”. Основные результаты и иные возможные для выбора появляются в окне “Расчет”. Подробные результаты могут быть представлены при нажатии “Подробно” или в протоколе отчета. В нашем случае был получен коэффициент запаса 1.32. Устойчивость клина породы не соответствует требуемой степени безопасности ( $F \geq 1.5$ ). В большом временном масштабе возможность нестабильности по

локальной поверхности может повлиять на скальный массив. Поэтому должны быть запроектированы некоторые технические решения для увеличения устойчивости клина.



Расчет – этап 1

### Разработка решения для повышения устойчивости

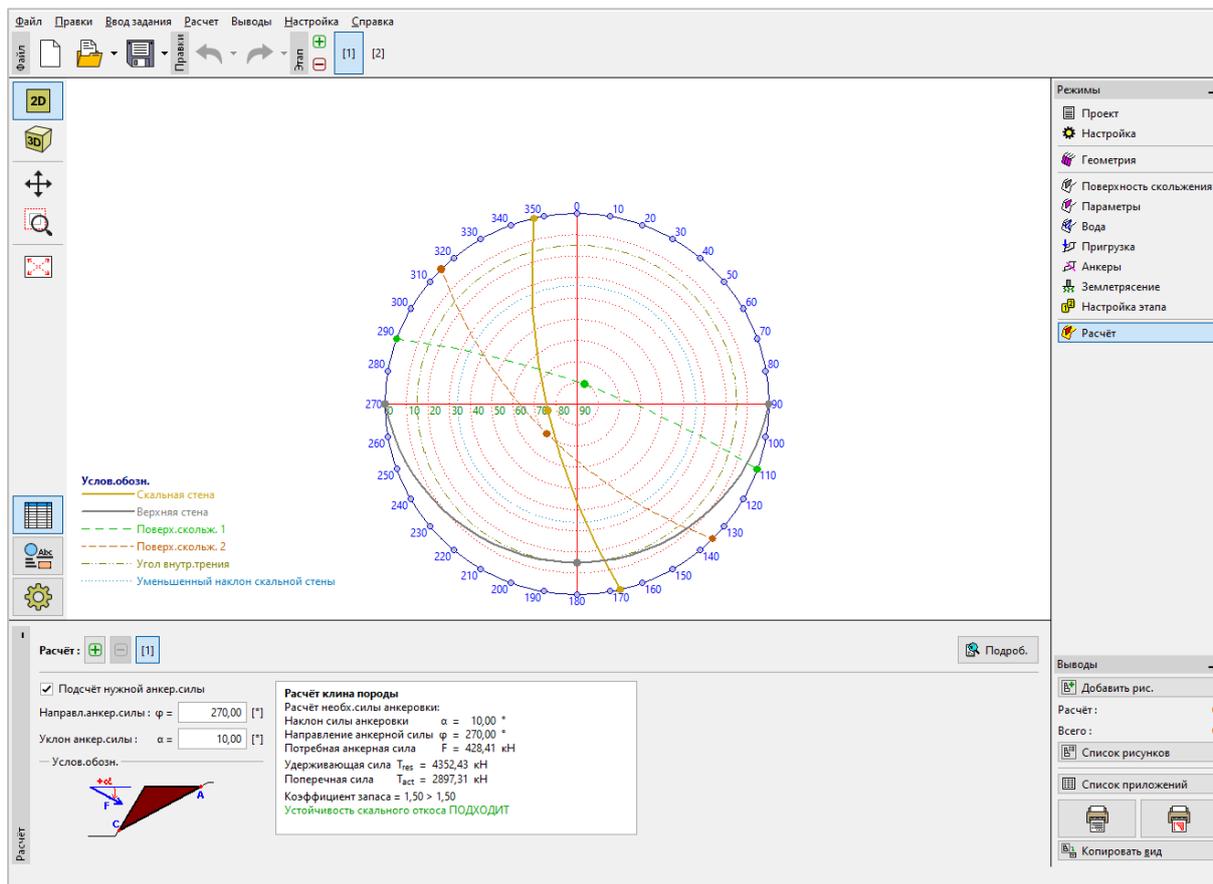
Увеличение устойчивости клина породы возможно посредством изменения формы на более пологую или экскавации маленьких уступов, уменьшающих общий уклон. Это решение влечет за собой большой объем земляных работ и требует больших площадей, что дает аргументы в пользу того, чтобы считать это решение дорогостоящим. Второй вариант – сохранить существующую форму скального откоса и обеспечить устойчивость сползающего клина породы скальными креплениями (анкерами) или нагелями. Это второе решение описано в тексте ниже.

Применение анкера проверяется на втором этапе расчета путем нажатия кнопки “+”, которая находится рядом с кнопкой “Этап”.



Добавление следующего этапа

Во вкладке “Расчет” выберем “Подсчет нужной анкер. силы” и зададим направление и уклон силы в анкерах: ориентация по направлению к откосу  $\varphi = 270$  градусов, уклон анкер. силы  $\alpha = 10^\circ$ . После настройки необходимых данных следует автоматическое вычисление и программа показывает результат. Для рассчитываемого анкера с усилием 428 кН мы получили значение коэффициента безопасности 1,5.



Подробные результаты в окне “Расчет”

Геометрия откоса допускает монотонное (однотипное) направление и наклон всех анкеров, поэтому следующим шагом будет оценка подходящей технологии анкерных креплений с заявленной несущей способностью и расчет необходимого количества размещаемых анкеров (плотность размещения). В нашей ситуации мы предпочли взять стандартные крепления без натяжения (выбранные крепления затираются во время буровых работ). Выбранные крепления создают усилие 50 кН сразу после установки и минимальную несущую способность 150 кН через 24 часа. Простой расчет показывает, что для стабилизации скального клина необходимо 5 быстровозводимых креплений; размер запроектированных креплений составляет 2,5 x 2,5 м. В связи с недостатком прочности массива горных пород рекомендуется использовать поддерживающую проволочную сетку.

*Примечание: В случае если у массива горных пород масштабное напластование или он тектонически затронут параллельными плоскостями анкер должен быть пробурен близко к перпендикулярному направлению к плоскостям (минимальный угол между плоскостью породы и анкером (нагелем) должен составлять 45°).*

## **Заключение**

В наших предварительных результатах обсуждался расчет клина скальной породы, показывающий коэффициент запаса (надежности)  $F=1.32$ , что не является достаточным значением. Этот результат требует рассмотрения технического решения, увеличивающего устойчивость откоса. Мы решили выбрать для стабилизации клина вариант с анкером как наиболее экономически целесообразный. На втором этапе проектирования были подобраны усилие в анкере и его направление (уклон). Из-за необходимости монотонного (однотипного) устройства креплений в массиве породы был выбран подходящий тип крепления с его расчетной плотностью размещения.