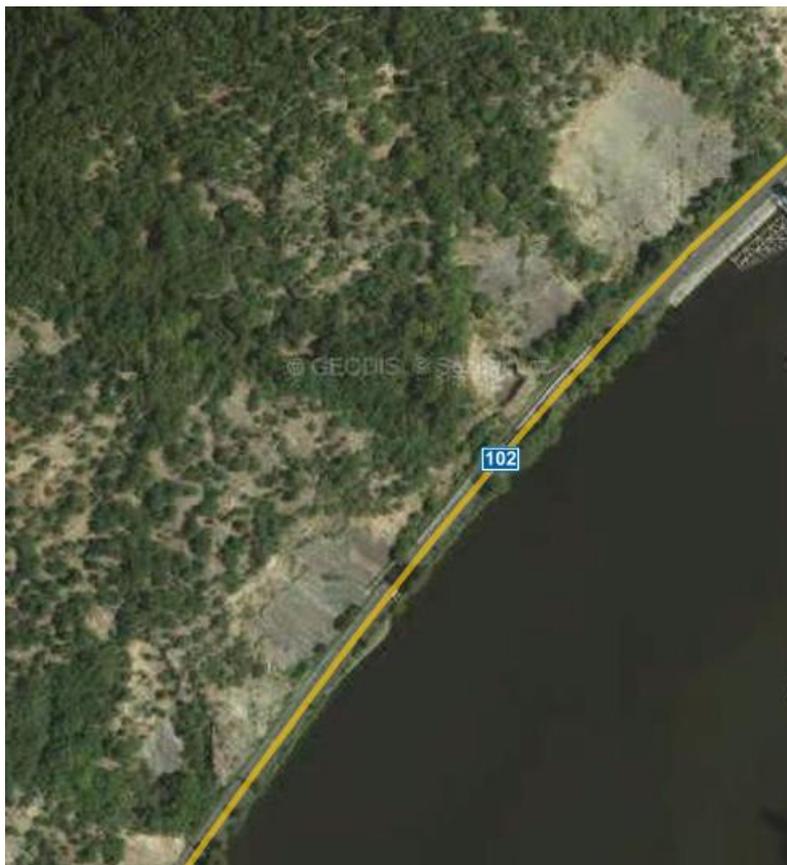


Устойчивость скального откоса – разрушение при плоском сдвиге

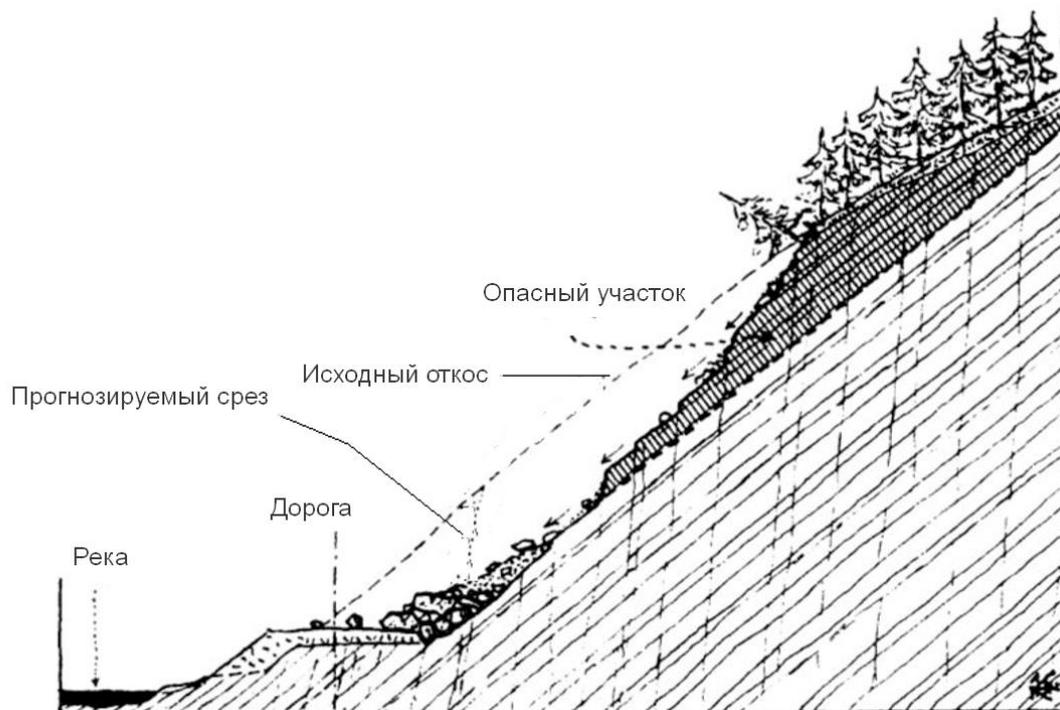
Данное инженерное руководство описывает анализ устойчивости откоса котлована, расположенного рядом с дорогой № II/102 Стрнады-Стеховице, которая находится в низу долины реки Влтава. На устойчивость откоса влияют осыпающиеся камни, сползание слоя скального грунта, влага от грунтовых вод и плохая стабилизация скального выступа от 1931 года, все это несмотря на то, что стабилизационные работы проводятся часто. Самый крупный провал произошел в 1924 году, когда 8000 м³ горной массы соскользнула вниз. В 2011 году на дорогу скатилась 2-тонная каменная глыба. Ниже в тексте будет оценено выбранное поперечное сечение.



Вид самого опасного сечения – часть Вране-над-Влтавой (фото S. Chamra)



Фрагмент Вране-над-Влтавой – 3D-карта (Geodis, Seznam.cz)



Геологический разрез участка, пострадавшего от оползня 1931 года, когда строилась дорога близ Стеховице (R. Kettner, 1955: Všeobecná geologie IV)

Введение

Выбранный участок дороги можно найти вдоль левого берега долины реки Влтавы. Дорога была построена частично в котловане, а частично была проложена по подпорной стене, наклоненной к реке. Глубина выемки составляет более 10 метров. Над выемкой есть крутой склон. Рассматриваемая скальная стена образована слоистыми алевролитами и сланцами, которые имеют трещины в швах, перпендикулярных слою. Морфология поверхности определяется ориентацией залегания осадочных пород.

Пример оценки устойчивости откоса относится к участку выбранного скального склона с наибольшей вероятностью внезапного оползня скальных блоков. Оценка проводится в долгосрочной перспективе, поэтому принятый коэффициент безопасности должен составлять не менее 1,5. В ситуации, когда коэффициент безопасности ниже 1,5, потребуется конструкция стабилизации при обрушении.



Предполагаемое поступательное смещение скального блока (фото Vaníček, 2009)

На основании геологических изысканий и архивных документов были определены следующие свойства скального грунта (сланца) – удельный вес $\gamma = 26 \text{ кН/м}^3$, разрушение при сдвиге - трение в плоскости $\varphi' = 38^\circ$, разрушение при сдвиге - сцепление 0,8 МПа (лабораторные измерения выбуренного образца), модуль деформации $E_0 = 10 \text{ МПа}$.

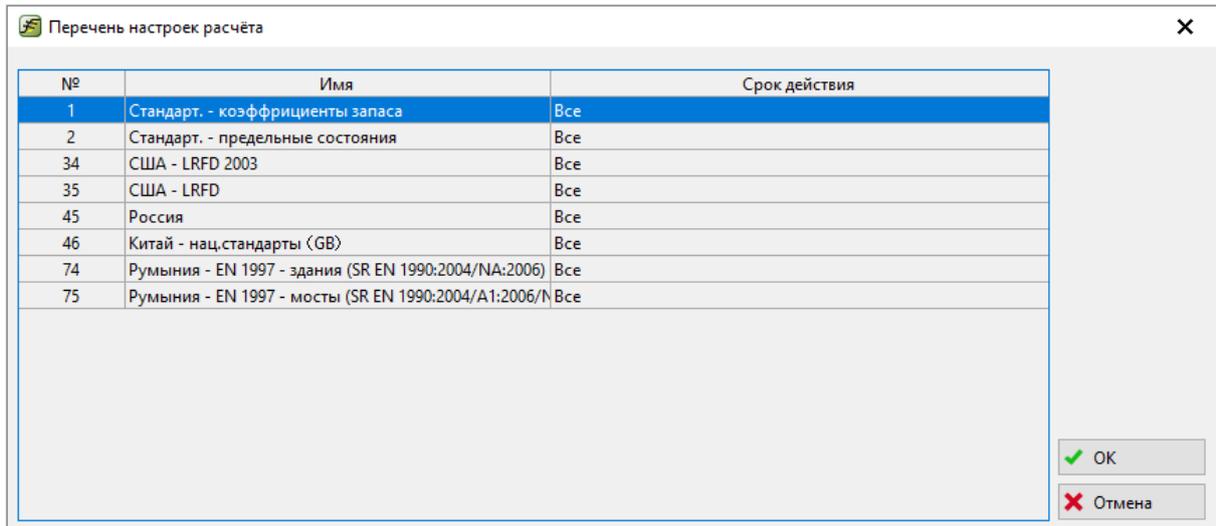
Решение

Оценка устойчивости выбранного поперечного сечения откоса будет выполнена так, чтобы соответствовать коэффициенту безопасности (устойчивости), результат затем будет проверен с использованием численной модели МКЭ. Ниже приводится пошаговое описание этого решения.

Ввод задачи

Настройка численных значений, соответствующих коэффициенту запаса и разрушению скального откоса.

В окне Настройка выберем “Выбрать настройку” и “Стандарт – коэффициент запаса”, подтвердим нажатием кнопки „ОК“.



Вкладка “Настройка”

Далее мы должны установить тип вычисления. Программа “Скальный откос” позволяет оценить устойчивость скального грунта при плоском сдвиге или сдвиге по полигональной поверхности, а также при сдвиге клина породы. Обычно трудно определить тип разрушающего сдвига, и тогда требуется помощь геолога. Наши настройки задачи созданы на основании окончательного отчета по геологическим изысканиям и фотографиям; более того, после личного посещения объекта и оценки обрушений. Мы видим, что плоскости залегания наклонены под крутым углом от 40 до 50 градусов, и сланцевые блоки могут соскальзывать на дорогу, расположенную у подножия холма. По этой причине для оценки выбирается тип обрушения по плоской поверхности скольжения.

Задание геометрии рельефа скального откоса

Морфология поперечного сечения должна быть настроена во вкладке “Рельеф”. Начальная точка поперечного сечения выступа откоса может быть заменена и отличаться от принятой по умолчанию. Обычно начальной точкой является дно откоса. Другая точка может находиться на некотором расстоянии перед выступом откоса. В нашем случае начальная точка расположена на горизонтальной поверхности в 5 м перед дном откоса с координатами $x=0$, $z=0$. Оцениваемая нами геометрия откоса начинается слева и продолжается направо.

Во вкладке “Рельеф” с помощью кнопки “Добавить” открываем диалоговое окно, где вводим морфологию поперечного сечения скального откоса (от начальной точки). Линейные сегменты

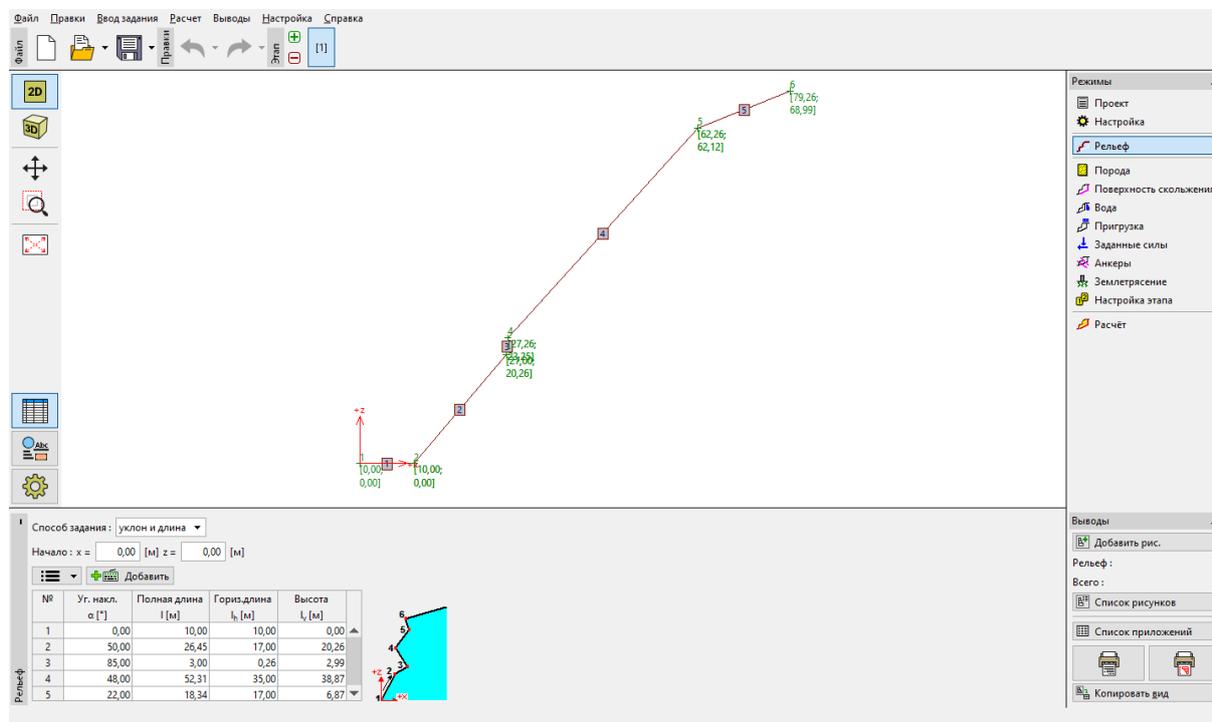
могут быть заданы комбинацией угла наклона и длины и/или горизонтальной длины и высоты. Программа сама вычислит не введенные значения и создаст полное поперечное сечение.

На основе координат морфологических изгибов поверхности задаем геометрию скального откоса:

Линейный сегмент, №	Угол наклона, α [°]	Полная длина, l [м]	Горизонтальная длина, l_h [м]	Высота, l_v [м]
1	0	-	10,0	-
2	50	-	17	-
3	85	3	-	-
4	48	-	35	-
5	22	-	17	-

Задание линейных сегментов (ввод значений)

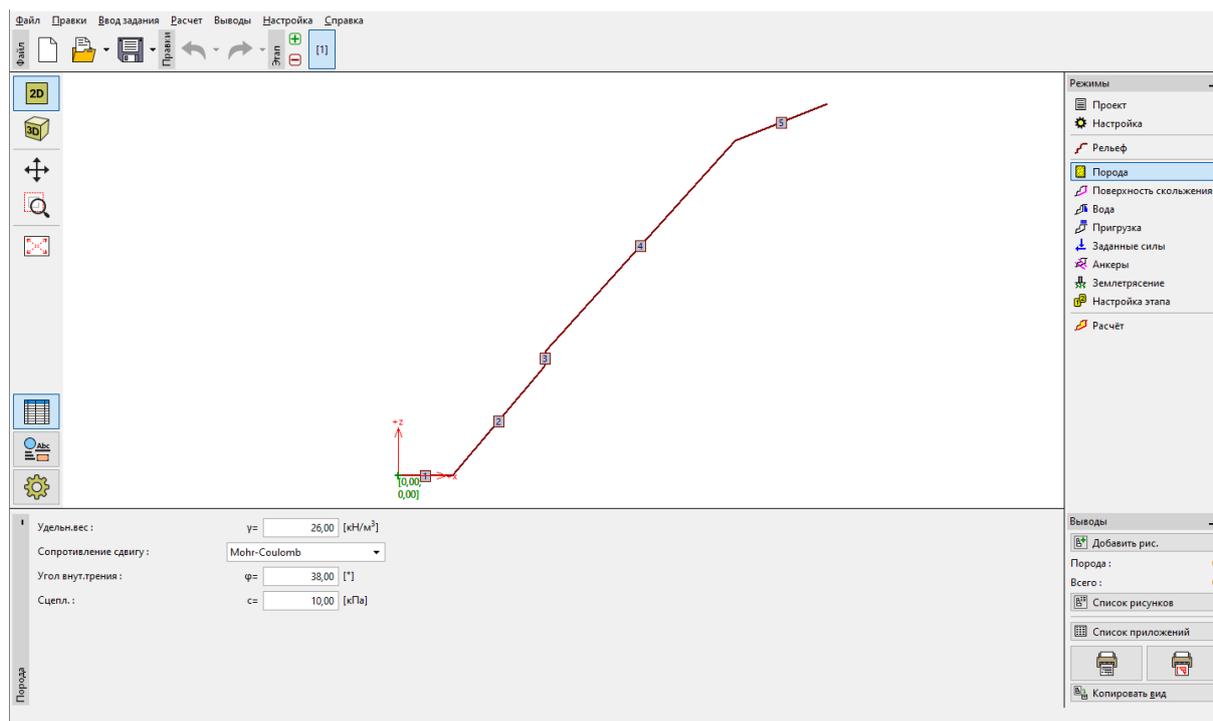
Программа показывает поперечное сечение в графическом окне и таблицу с координатами линейных сегментов.



Задание линейных сегментов поперечного сечения во вкладке "Рельеф"

Задание характеристик горной породы

Описываем массив породы (механические свойства) поперечного сечения во вкладке “Порода”. На основании данных геологических изысканий, которые были проведены, рекомендованы следующие характеристики удельного веса и сопротивления сдвигу, согласно модели Кулона (Coulomb model): удельный вес $\gamma = 26 \text{ кН/м}^3$, остаточная сдвиговая прочность в плоскости напластования – остаточный угол внутреннего трения $\phi'_r = 38^\circ$, остаточное сцепление $c'_r = 10 \text{ кПа}$.

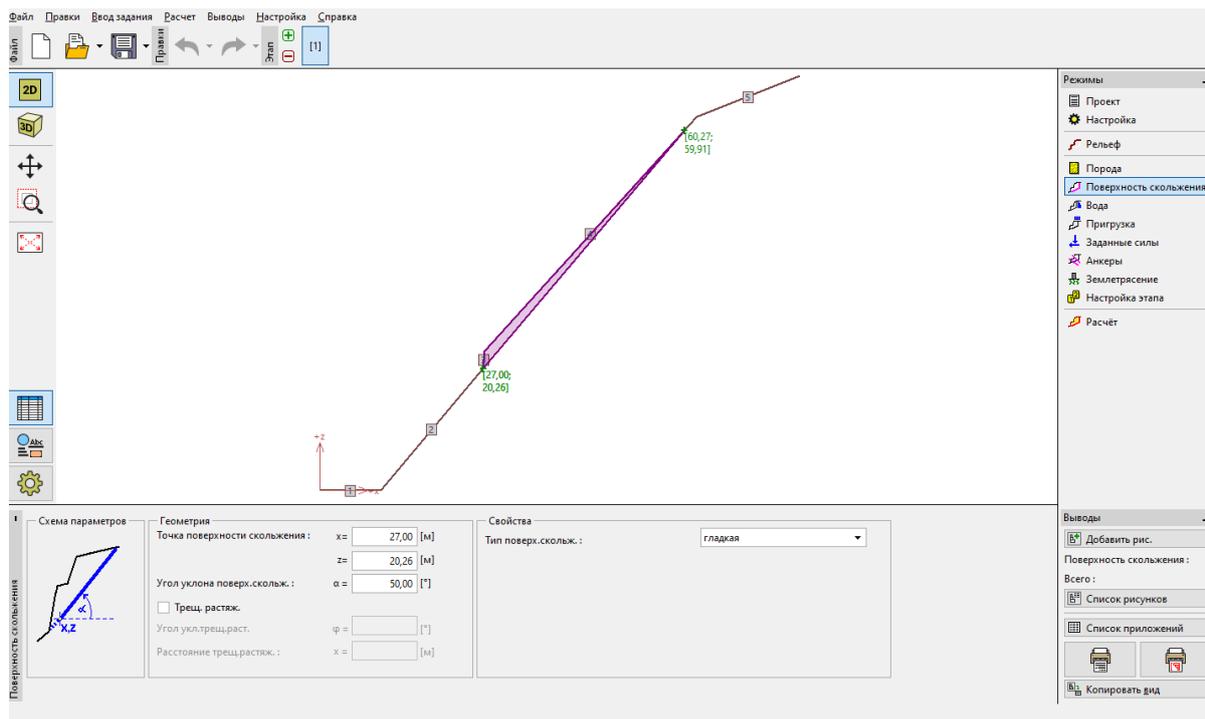


Вкладка “Порода”

Примечание: Программа позволяет задавать механические свойства по моделям Barton-Bandis и Hoek-Brown.

Задание геометрии плоскости сдвига и ее свойств

Поверхность сдвига и ее свойства должны быть описаны во вкладке “Поверхность скольжения”. Одна точка поверхности сдвига совпадает с линией в основании скального блока $x = 27 \text{ м}$, $z = -20,26 \text{ м}$. Согласно геологическим изысканиям наклон плоскости сдвига 50 градусов.



Задание поверхности сдвига во вкладке “Поверхность скольжения”

Влияние подземных вод

Влияние подземных вод должно быть описано во вкладке “Вода”. Обнаружено несколько мест скопления грунтовых вод в нижней части стены, особенно вдоль разрывов, параллельных напластованию. Зимой замерзающая вода раскрывает трещины. Одновременно лед создает барьер для движения воды и аккумулируемая вода над этой пробкой увеличивает гидростатическое давление.

Рассматриваемый блок находится над уровнем грунтовых вод, и, согласно изысканиям, на стабильность не влияет скопление подземных вод. В связи с этим оценка устойчивости откоса проводится без учета влияния подземных вод.

Ввод пригрузки

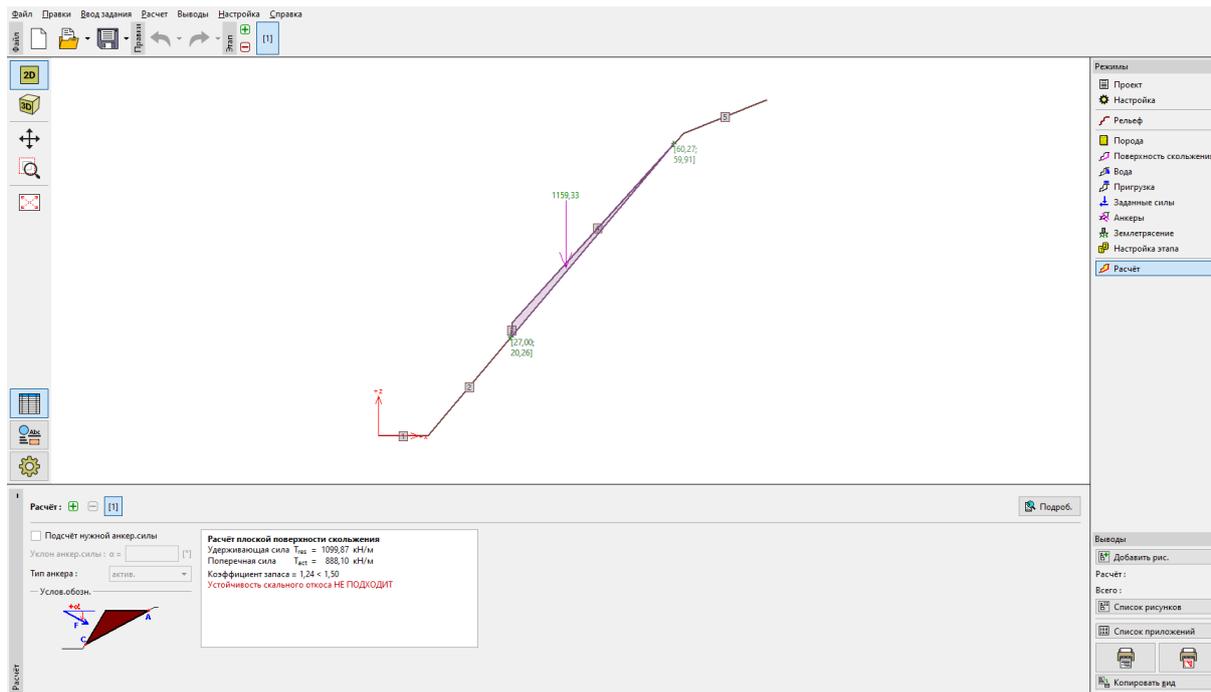
Пригрузка, оказывающая влияние на скальный выступ, должна быть задана во вкладке “Пригрузка”. Здесь нет внешней пригрузки на выбранном и оцениваемом блоке.

Настройка этапа

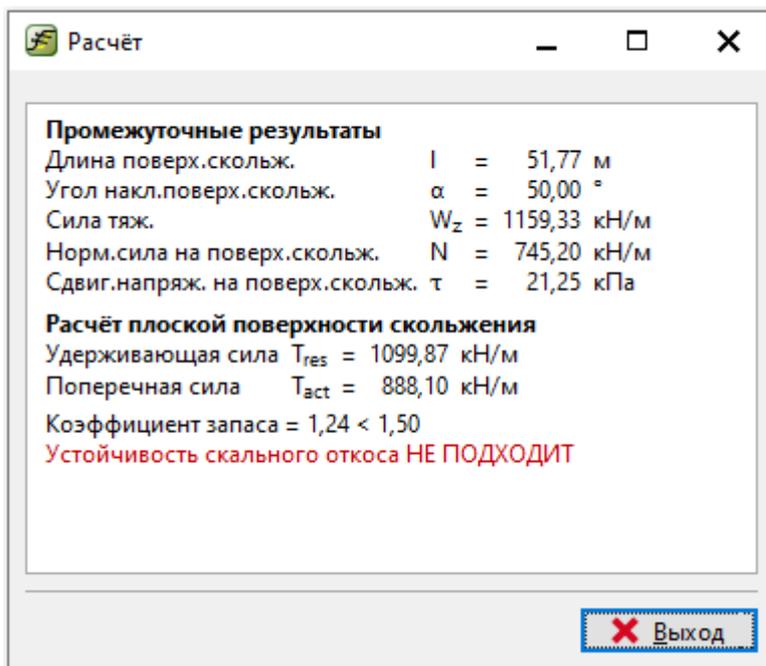
Проектная ситуация должна быть задана во вкладке “Настройка этапа”. В нашей задаче мы оцениваем устойчивость откоса на предмет надежности конструкций на дне откоса в течение длительного времени. Поэтому выбираем проектную ситуацию – “постоянная”.

Расчет

Оценка задачи будет запущена после нажатия кнопки “Расчет”. Основные результаты видны в окне “Расчет”. Результат в нашей задаче $F = 1.24 \ll 1.5$. Подробный результат показан в окне “Подробно” и/или при просмотре вида печати документа.



Вкладка "Расчет"



Подробное изложение результатов в окне "Расчет"

Заключение

Результаты нашей задачи показывают, что коэффициент запаса для откоса $F=1.24$, это значение меньше требуемого 1.5. Это означает, что устойчивость к камнепадам оцениваемого блока не соответствует требуемому коэффициенту запаса 1.5 (на длительный период) и необходимы работы по дальнейшему проектированию для увеличения устойчивости.

Достижение требуемой устойчивости на выбранном поперечном сечении невозможно из-за большого объема соскальзывающей горной массы. Стабилизация с помощью каменных болтов или нагелей технически сложна, учитывая труднодоступность и необходимость специального технического оборудования. Предлагаемым решением может быть комбинация частичной стабилизации каменного блока и устройства барьеров (динамических барьеров), которые могут защитить дорогу от падающих блоков.

Источники :

VANÍČEK, I., HRUBÝ, V., CHAMRA, S., JIRÁSKO, D. (2009): *Posouzení geotechnických rizik v souvislosti s havarijním stavem skalního masivu a nebezpečím sesuvu na komunikaci II/102 v úseku Strnady – Štěchovice, MS – Závěrečná zpráva, České učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha.*

ZARUBA, Q., MENCL, V., 1957. Engineering Geology. (In Czech.) NCSAV, Prague, pp. 1—425.