

Проектирование поперечного профиля насыпи и проверка устойчивости

Ширина основной площадки насыпи принимается по нормам, приведенным в таблице 8 СП238.

Категория железнодорожной линии	Число главных путей	Ширина земляного полотна на прямых участках пути, м, при использовании грунтов	
		Глинистых, крупнообломочных с глинистым заполнителем, скальных выветривающихся и легко выветривающихся, песков недренирующих, мелких и пылеватых песков	Скальных слабоветривающихся, крупнообломочных с песчаным заполнителем и песков дренирующих
Скоростная, пассажирская и особогрузонапряженная	2	12,0	12,0
I	2	11,7	10,7
I и II	1	7,6	6,6
III	1	7,3	6,3
IV	1	7,1	6,2

Ширина земляного полотна на железных дорогах всех категорий на участках, расположенных в кривых, должна быть увеличена с наружной стороны кривой на значение, указанное в таблице 9 СП238.

Радиусы кривых, м	Уширение земляного полотна, м
3000 и более	0,20
2500-1800	0,30
1500-700	0,40
600 и менее	0,50

Крутизну откосов насыпей следует назначать в зависимости от вида грунта, его состояния и высоты насыпи по таблице 10 СП238.

Вид грунта	Крутизна откосов при высоте насыпи, м		
	До 6	До 12	
		в верхней части высотой 6	в нижней части высотой 6–12
Раздробленные скальные слабовыветривающиеся и выветривающиеся, крупнообломочные с песчаными заполнителями, пески гравелистые, крупные и средней крупности, металлургические шлаки	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески мелкие и пылеватые, глинистые грунты (в том числе лессовидные) твердой и полутвердой консистенции, крупнообломочные с глинистым заполнителем такой же консистенции, раздробленные скальные легковыветривающиеся	1:1,5	1:1,5	1:1,75
Глинистые грунты тугопластичной консистенции и крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем такой же консистенции	1:2	Определяется расчетом	
Глинистые грунты (в том числе лессовидные) в районах избыточного увлажнения, а также пески однородные и пылеватые	1:1,75	1:1,75	1:2
Пески мелкие (барханные) в районах с засушливым климатом	1:2	1:2	1:2

Пример проектирования поперечного профиля насыпи в расчетный период с учетом паводка

Исходные данные

Категория дороги – 1

Количество путей – 1

План линии – Кривая R-800

Высота насыпи – 15,0 м

Грунт насыпи – суглинок

Высота незатопляемой бермы – 7,0 м

Высота капиллярного поднятия – 1,26 м

Глубина воды при расчетном уровне – 3,56

м

Средний уклон кривой депрессии – 32 ‰

Поперечный уклон местности – 7 ‰

Толщина защитного слоя – 1,2 м

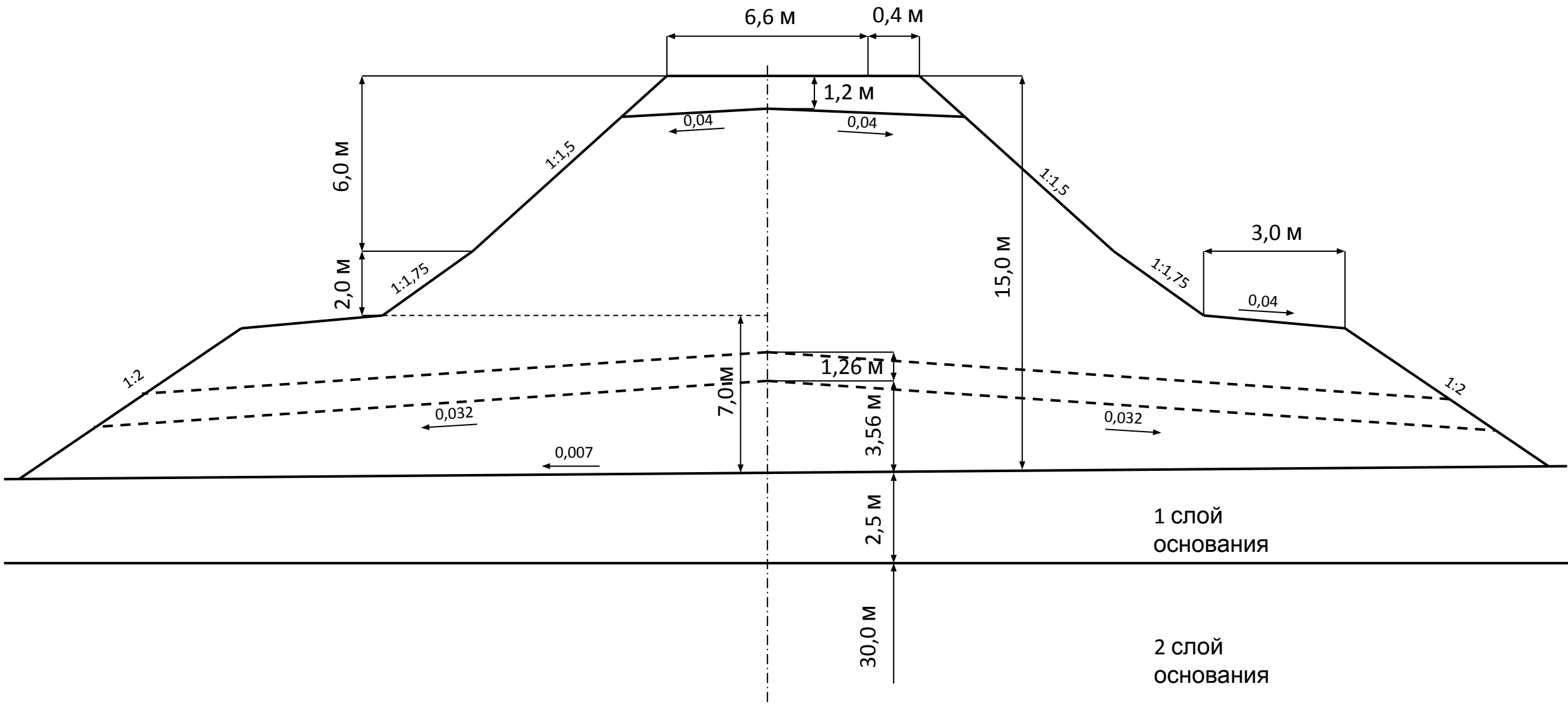
Толщина первого слоя основания – 2,5 м

Толщина второго слоя основания – 30,0 м

Для первой категории дороги ширина основной площадки земляного полотна для дренирующих грунтов (каковым является защитный слой) равна 6,6 м. Уширение основной площадки равно 0,4 м. Крутизна откосов насыпи до 6 м равна 1:1,5. Так как высота незатопляемой бермы равна 7,0 м, а высота насыпи – 15,0 м, крутизна оставшейся части откоса ($15,0 - 7,0 - 6,0 = 2,0$ м) равна 1:1,75. Минимальная ширина незатопляемой бермы – 3,0 м. Для отвода воды устраивается уклон 0,04 в полевую сторону, такой же уклон принимается и для защитного слоя. Крутизна откосов бермы принимается равной 1:2. Основание расположено под уклоном 0,007. Верхний уровень воды (глубина 3,56 м) очерчивается кривой депрессии (уклон 0,032), а над ним размещается зона сплошного капиллярного поднятия (высота 1,26 м). Толщина первого слоя основания 2,5 м, его границу со вторым слоем основания разрешается делать с нулевым уклоном.

Схема поперечного профиля насыпи с указанием всех размеров приведена на следующем слайде.

Для дальнейшего расчета устойчивости в программе GEO5 данную схему необходимо вычертить в AutoCAD для своего варианта без указания размеров. Для последующего экспорта в программу GEO5 чертеж необходимо сохранить в формате .dxf



Расчет устойчивости всей насыпи выполняется с помощью программного комплекса GEO5, в котором рассматриваются все зоны рассчитываемой насыпи. Сначала определяются характеристики всех зон подтопленной насыпи и слоёв основания. Затем рассчитывается статический коэффициент устойчивости насыпи. Насыпь разбивается на инженерно-геологические элементы – ИГЭ – для которых необходимо рассчитать удельный вес грунта, сцепление и угол внутреннего трения. Схема ИГЭ представлена ниже.



ИГЭ-1 – защитный слой

Удельный вес в данном случае будет равен удельному весу грунта верхней части насыпи: $\gamma_1 = \gamma^{\text{верх}}$

Сцепление и угол внутреннего трения равны этим характеристикам защитного слоя: $C_1 = C_{\text{з.с.}}$ $\varphi_1 = \varphi_{\text{з.с.}}$

ИГЭ-2 – грунт насыпи выше зоны капиллярного поднятия

Удельный вес будет равен удельному весу грунта нижней части насыпи: $\gamma_2 = \gamma^{\text{низ}}$

Сцепление и угол внутреннего трения равны этим характеристикам грунта насыпи: $C_2 = C$ $\varphi_2 = \varphi$

ИГЭ-3 – зона капиллярного поднятия

Удельный вес рассчитывается по формуле

$$\gamma_3 = \frac{\gamma_s + e \cdot \gamma_B}{1 + e}$$

где: γ_s – удельный вес частиц грунта (п.6.2 из задания);

γ_B – удельный вес воды ($\gamma_B = 9,81 \text{ кН/м}^3$);

e – пористость частиц грунта в зоне капиллярного поднятия:

$$e = \frac{\gamma_s \cdot (1 + W_{\text{опт}})}{\gamma^{\text{низ}}} - 1$$

где: $W_{\text{опт}}$ – оптимальная влажность (п.6.3 из задания).

$\gamma^{\text{низ}}$ – удельный вес грунта нижней части насыпи.

Сцепление и угол внутреннего трения при водонасыщении снижаются относительно характеристик при естественной влажности:

$$C_3 = 0,5 * C$$
$$\varphi_3 = 0,75 * \varphi$$

ИГЭ-4 – зона водонасыщения

Удельный вес рассчитывается по формуле

$$\gamma_4 = \frac{\gamma_s - \gamma_b}{1 + e}$$

Сцепление и угол внутреннего трения равны:

$$c_4 = c_3$$

$$\varphi_4 = \varphi_3$$

ИГЭ-5 – 1 слой основания

Удельный вес рассчитывается по формуле

$$\gamma_5 = \gamma_{\text{осн}} = \frac{\gamma_{s-\text{осн}}}{1 + e_{\text{осн}}} \cdot (1 + W_{\text{осн}})$$

где: $\gamma_{s-\text{осн}}$ – удельный вес частиц грунта для 1-го слоя основания (п.13.3 из задания);

$e_{\text{осн}}$ – коэффициент пористости при напряжении 0 кПа для 1-го слоя (п.13.7 из задания);

$W_{\text{осн}}$ – влажность 1-го слоя основания (п.13.4 из задания);

Сцепление и угол внутреннего трения берутся из задания для 1-го слоя основания (п.13.5 и 13.6).

ИГЭ-6 – 2 слой основания

В отличие от расчета для ИГЭ-5 коэффициент пористости зависит от напряжения от веса грунта, действующее на ИГЭ-6 от ИГЭ-5. Для курсового проекта это значение разрешается принимать равным 100 кПа (п.13.7 из задания для 2-го слоя).

Удельный вес рассчитывается по той же формуле, как и для ИГЭ-5.

Сцепление и угол внутреннего трения берутся из задания для 2-го слоя основания (п.13.5 и 13.6).

Оценка устойчивости

В расчетах по поперечному сечению земляного полотна находят наихудшую поверхность возможного смещения с наименьшим коэффициентом устойчивости k_{min} , который сравнивают с допускаемым значением $[k]$.

Величина $[k]$ определяется нормами СП 238 в зависимости от категории железной дороги и условий расчета.

Для курсового проекта коэффициент $[k]$ принимается равным для линий: скоростных и особогрузонапряженных – 1,25, для I и II категорий – 1,20, для III категории – 1,15.

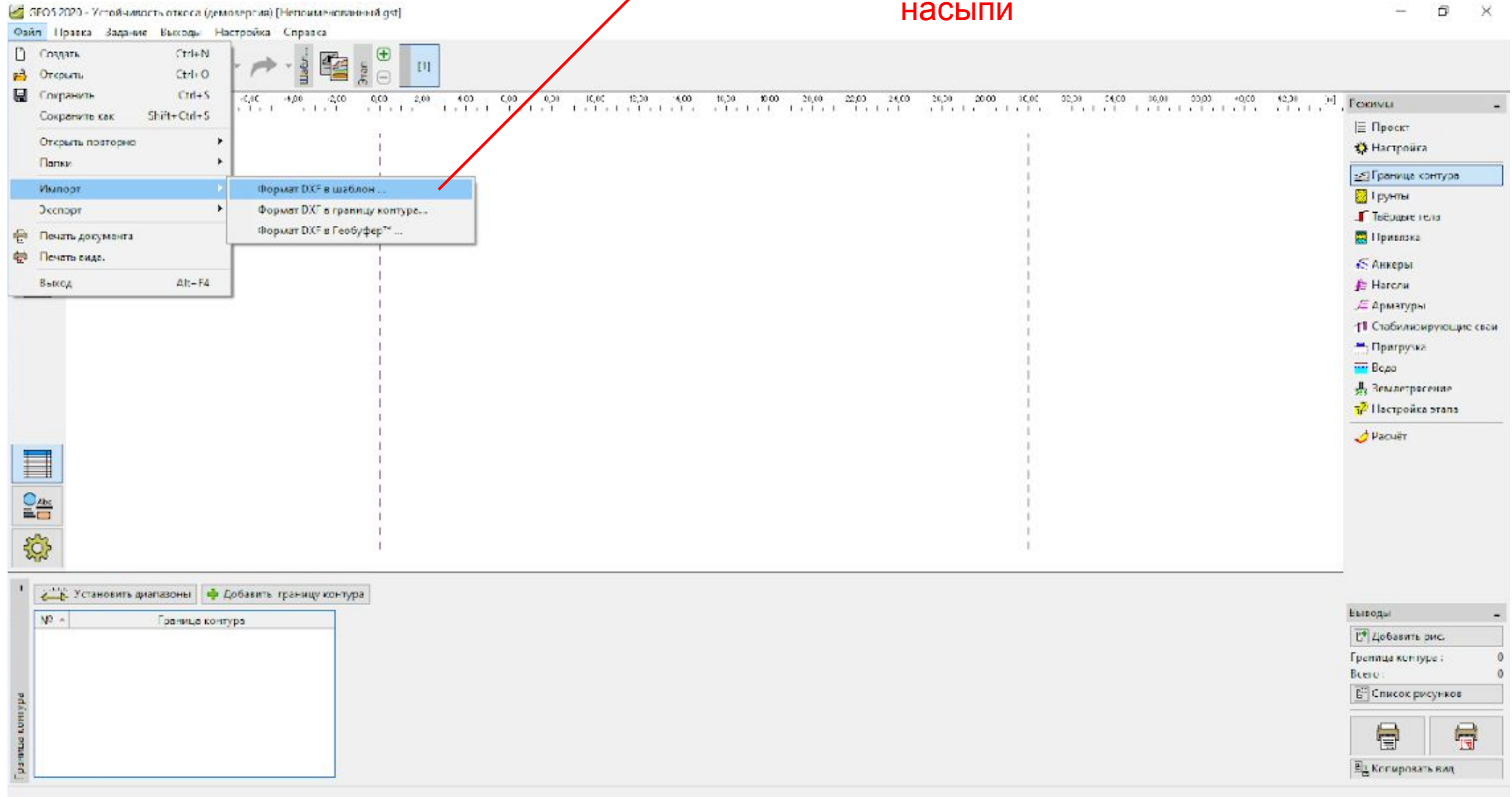
Однако, необходимо учесть динамическое воздействие от проезды на насыпи, которое зависит от высоты насыпи, типа грунта и интенсивности нагрузки. Коэффициент устойчивости k_{min} необходимо сравнить с допускаемым значением $[k]$ с учетом динамики.

$$k_{min} \geq a_d \cdot [k]$$

H, м	H _i , м	Грунты															КИ	
		Суглинки					Супеси					Пылеватые пески						
		Внешняя поездная нагрузка p _н , кПа																
		20	40	60	80	100	20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
3	3	1,02	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,09	1,11	1,12	1,13	1,03	1,05	1,06	1,06	1,07	1,17	
	6	1,05	1,08	1,10	1,11	1,13	1,08	1,13	1,16	1,17	1,18	1,06	1,12	1,15	1,16	1,17		
6	3	1,03	1,05	1,06	1,07	1,16	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,03	1,07	1,08	1,08	1,10		
	6	1,11	1,16	1,20	1,23	1,23	1,09	1,13	1,17	1,19	1,19	1,08	1,16	1,20	1,22	1,22		
	9	1,06	1,10	1,13	1,16	1,17	1,06	1,10	1,12	1,15	1,16	1,06	1,10	1,13	1,15	1,18		
9	9	1,04	1,08	1,09	1,12	1,13	1,02	1,06	1,07	1,08	1,09	1,04	1,06	1,08	1,10	1,10		
	12	3	1,13	1,19	1,24	1,26	1,28	1,11	1,17	1,21	1,23	1,25	1,09	1,17	1,20	1,22		1,23
		6	1,07	1,12	1,16	1,19	1,21	1,07	1,12	1,15	1,19	1,20	1,06	1,11	1,14	1,17		1,18
		9	1,05	1,08	1,12	1,14	1,16	1,04	1,08	1,13	1,17	1,19	1,03	1,08	1,11	1,14		1,16
12	12	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,01	1,06	1,07	1,08	1,09	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09		
	15	3	1,13	1,19	1,24	1,26	1,28	1,11	1,17	1,21	1,23	1,25	1,09	1,18	1,21	1,23		1,23
		6	1,07	1,12	1,16	1,19	1,21	1,07	1,12	1,15	1,19	1,20	1,06	1,11	1,14	1,17		1,19
		9	1,05	1,09	1,12	1,15	1,16	1,04	1,08	1,13	1,18	1,19	1,04	1,08	1,11	1,14	1,16	
		12	1,02	1,05	1,08	1,09	1,11	1,04	1,08	1,10	1,12	1,13	1,03	1,06	1,08	1,10	1,11	
15	15	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,01	1,04	1,06	1,07	1,10	1,01	1,03	1,06	1,08	1,09		
	18	3	1,13	1,20	1,25	1,26	1,28	1,11	1,17	1,22	1,23	1,25	1,09	1,18	1,21	1,23	1,23	
		6	1,07	1,12	1,16	1,19	1,21	1,07	1,12	1,15	1,19	1,20	1,06	1,11	1,14	1,17	1,19	
		9	1,03	1,09	1,12	1,14	1,16	1,04	1,08	1,13	1,17	1,19	1,04	1,08	1,11	1,14	1,16	
		12	1,02	1,05	1,08	1,09	1,11	1,04	1,08	1,10	1,13	1,13	1,03	1,06	1,08	1,10	1,11	
		15	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,03	1,05	1,07	1,08	1,11	1,02	1,04	1,05	1,08	1,09	
18	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,01	1,04	1,05	1,07	1,09	1,01	1,03	1,06	1,07	1,08			

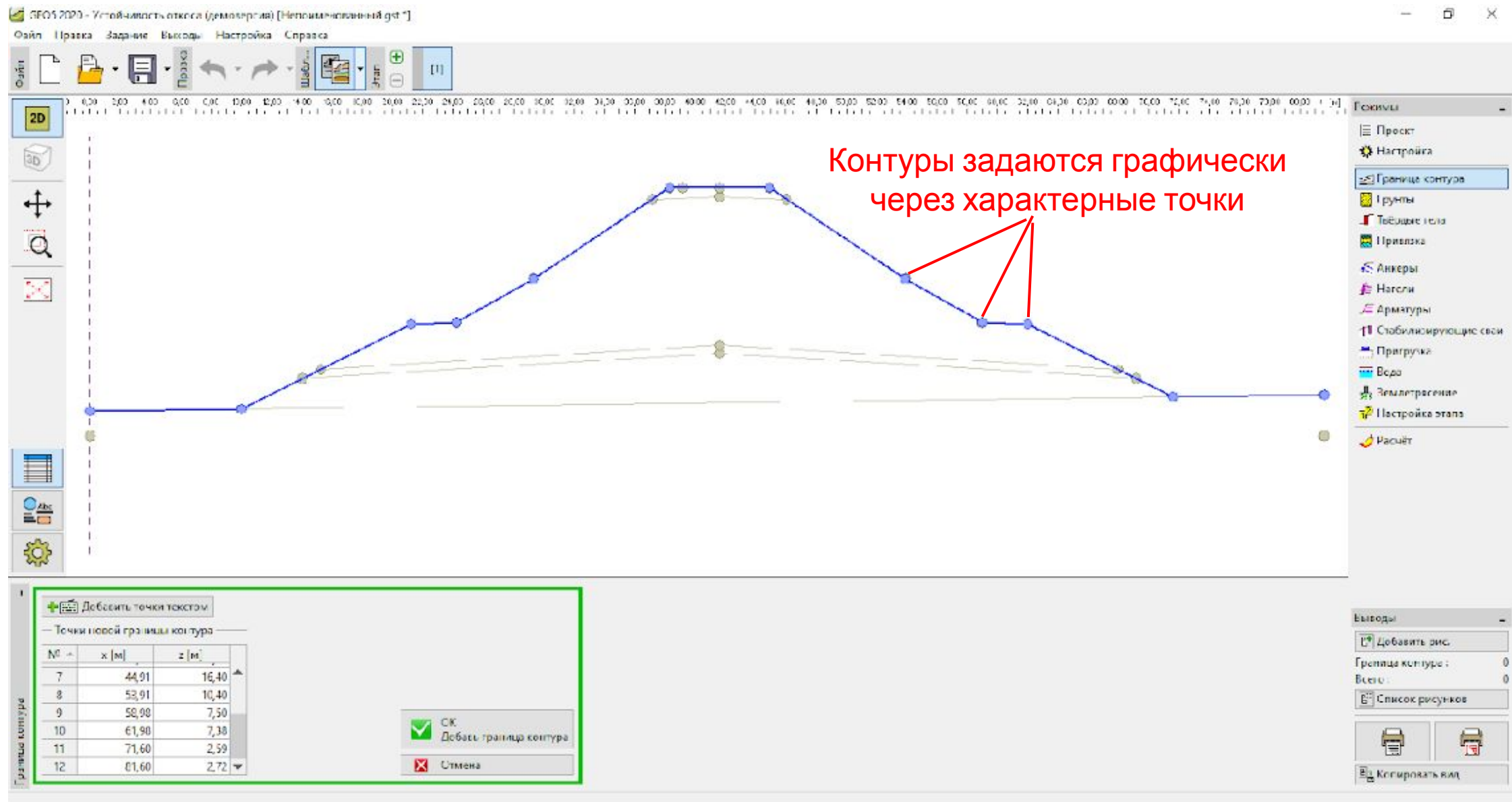
Расчет общей устойчивости в программном комплексе GEO5

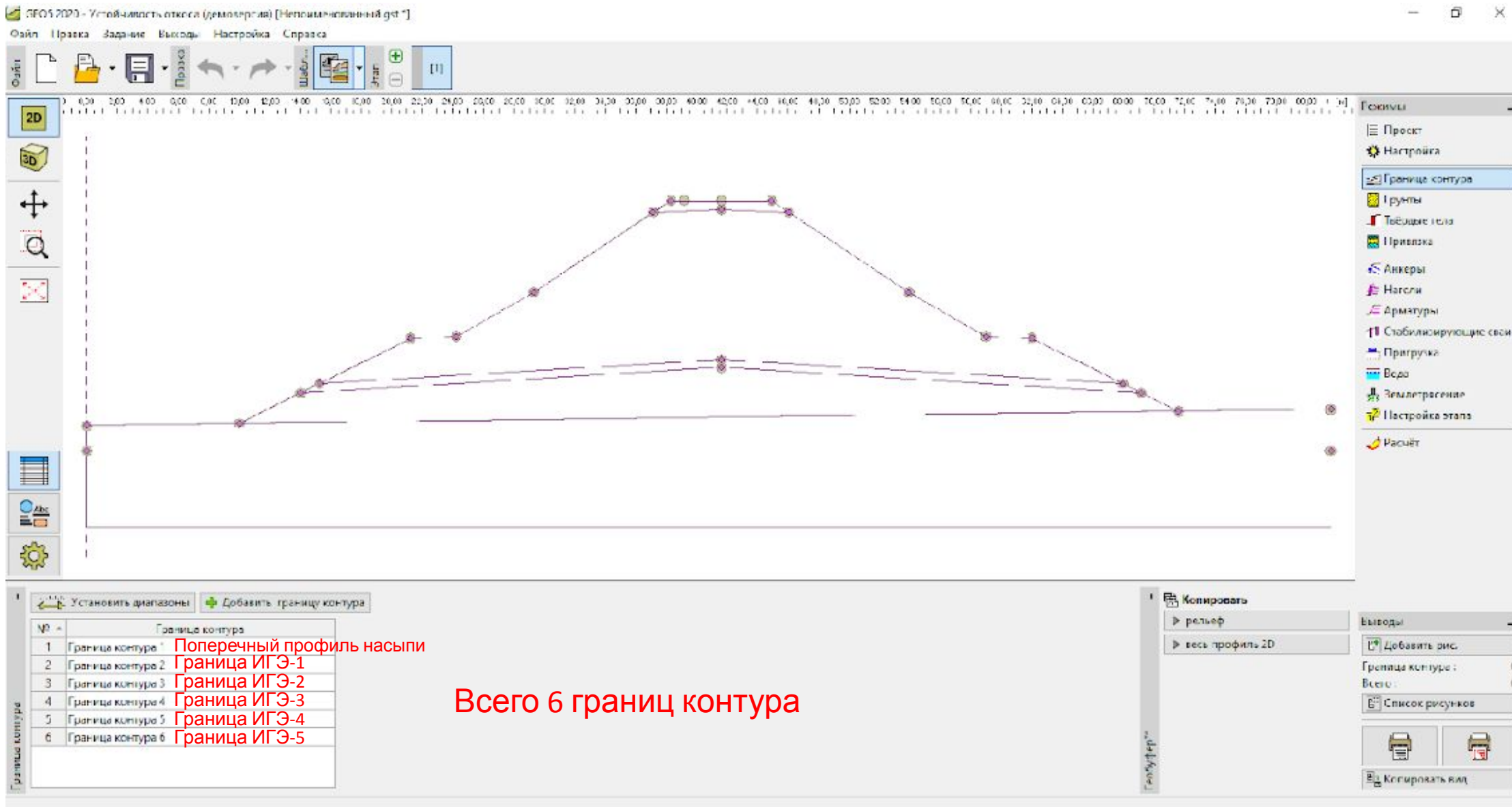
Импортируется заранее
начерченный поперечный профиль
насыпи

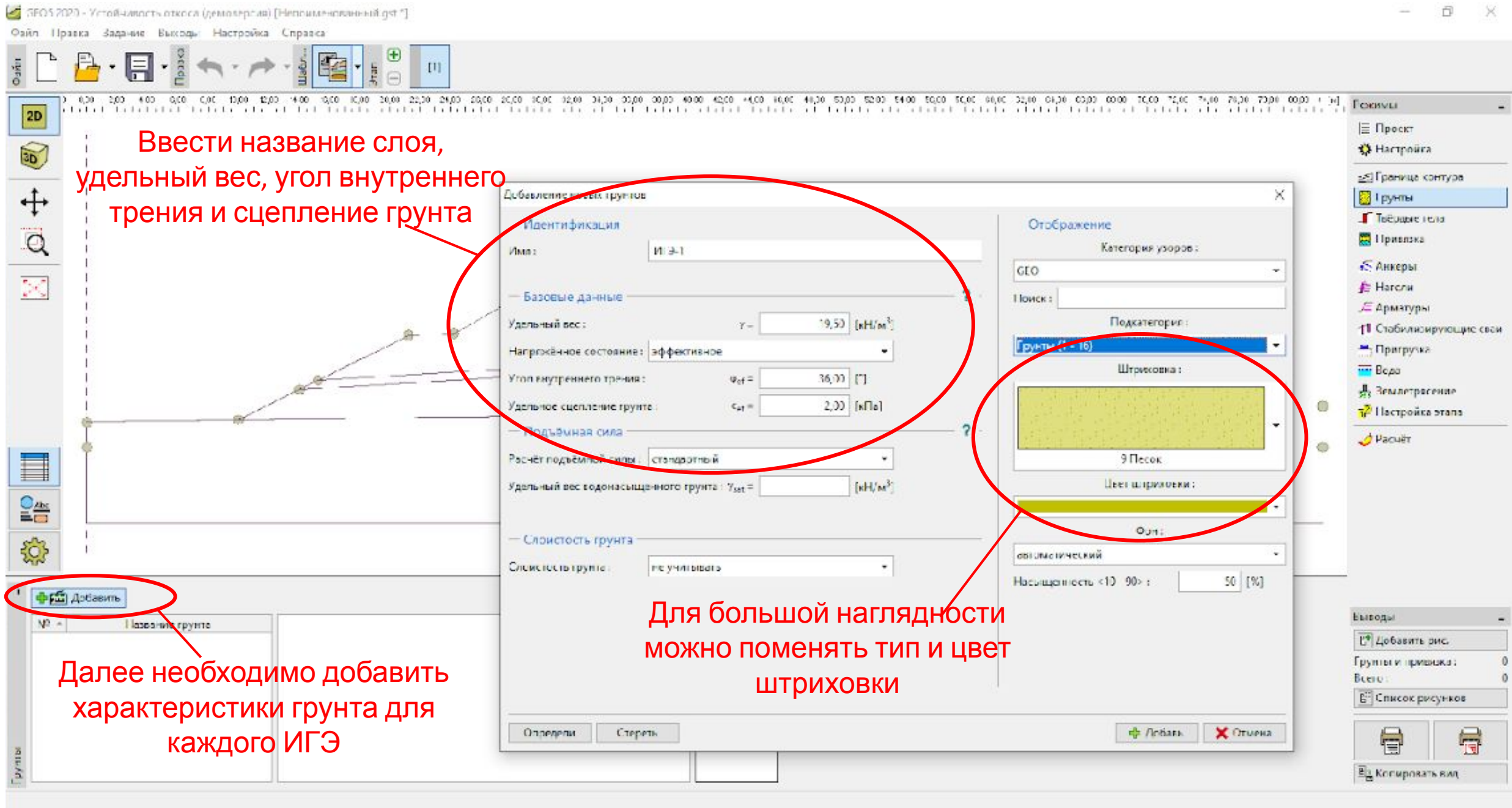


The screenshot displays the GEO5 2020 software interface. The main window shows a 2D cross-section of an embankment with a top surface and a base. The top surface is a solid line with several points, and the base is a dashed line. The vertical axis on the left is labeled '2D' and '3D'. The horizontal axis at the top has numerical values from 0,00 to 80,00. A toolbar at the top contains icons for file operations, navigation, and calculation. On the right side, there is a 'Свойства' (Properties) panel with a list of objects: Проект, Настройка, Граница контура (highlighted), Группы, Таблица слоев, Привязка, Анкеры, Нагели, Арматуры, Стабилизирующие связи, Пригрузки, Вода, Землетрясение, Настройка этапов, and Расчет. At the bottom left, a 'Границы контура' (Contours) dialog box is open, showing a table with columns for '№' and 'Граница контура'. A red circle highlights the 'Добавить границу контура' (Add contour boundary) button in this dialog. A red arrow points from this button to a red text box on the right.

Далее задаются контуры поперечного профиля насыпи и границы каждого ИГЭ



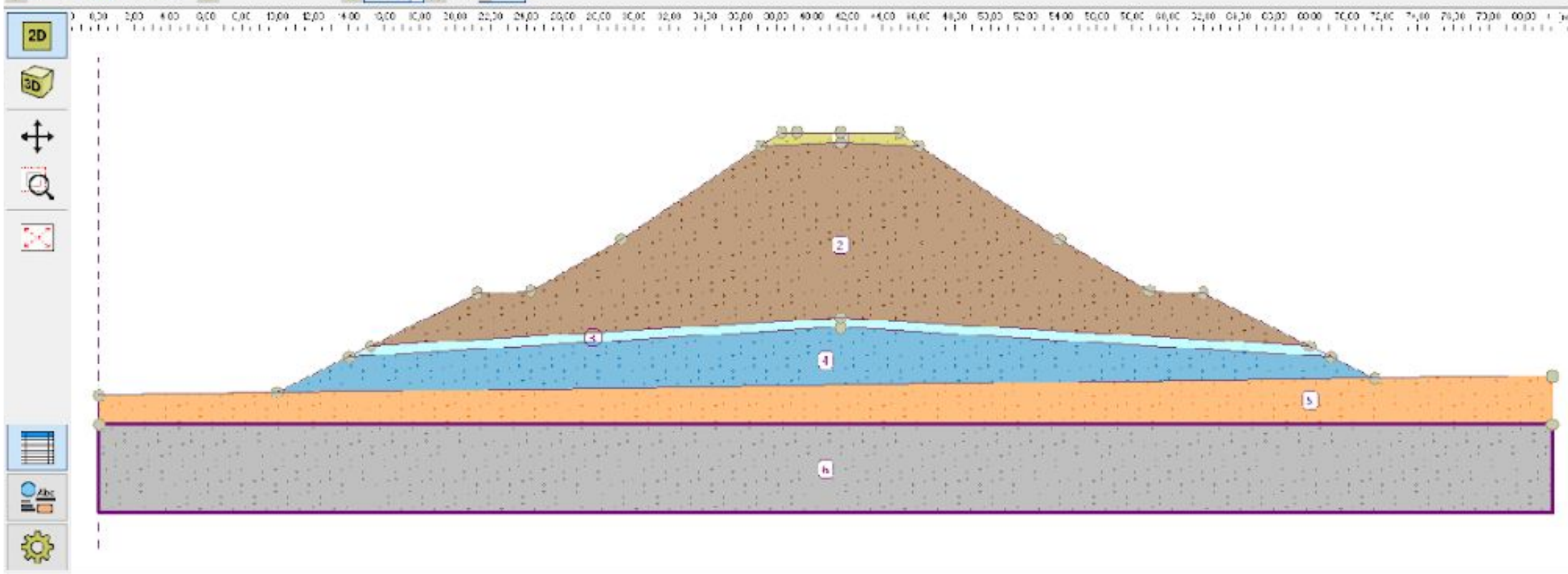




Ввести название слоя,
удельный вес, угол внутреннего
трения и сцепление грунта

Для большей наглядности
можно поменять тип и цвет
штриховки

Далее необходимо добавить
характеристики грунта для
каждого ИГЭ



- Свойства
- Проект
 - Настройка
 - Границы контура
 - Грунты
 - Таблица слоев
 - Привязка**
 - Анкеры
 - Нагели
 - Арматуры
 - Стабилизирующие связи
 - Пряжки
 - Вода
 - Землетрясение
 - Настройка этажа
 - Расчет

Добавить левой кнопкой:
ИГЭ-1

Область	Заданный грунт
1	ИГЭ-1
2	ИГЭ-2
3	ИГЭ-3
4	ИГЭ-4
5	ИГЭ-5
6	ИГЭ-6

Далее необходимо привязать
каждый ИГЭ к соответствующей
области

Копировать

прищипка

Выводы

Добавить рис.

Грунты и привязка: 0

Всего: 0

Список рисунков

Копировать вид

СРОС 2020 - Устойчивость откоса (девелопер) [Непримененный шаблон]

Файл Правка Задачи Выходы Настройка Справка

Файл Шаблоны Шаг

2D 3D

Госинв

- Проект
- Настройка
- Границы контура
- Грунты
- Таблицы геоло
- Привязка
- Анкеры
- Нагсли
- Арматуры
- Свойства грунтовых слоев
- Пригрузки**
- Водо
- Землетрясение
- Настройка этапов
- Расчет

Выводы

- Добавить рис.
- Пол. рисунка: 0
- Всего: 0
- Список рисунков
- Копировать вид

Название пригрузки

Имя: нагрузка от подвижного состава

Характеристики пригрузки

Тип: полосовая

Воздействие: постоянное

Положение: на поверхности

Нач.: $x = 40,26$ [м]

Длина: $l = 2,70$ [м]

Наклон: $\alpha = 0,00$ [°]

Величина пригрузки

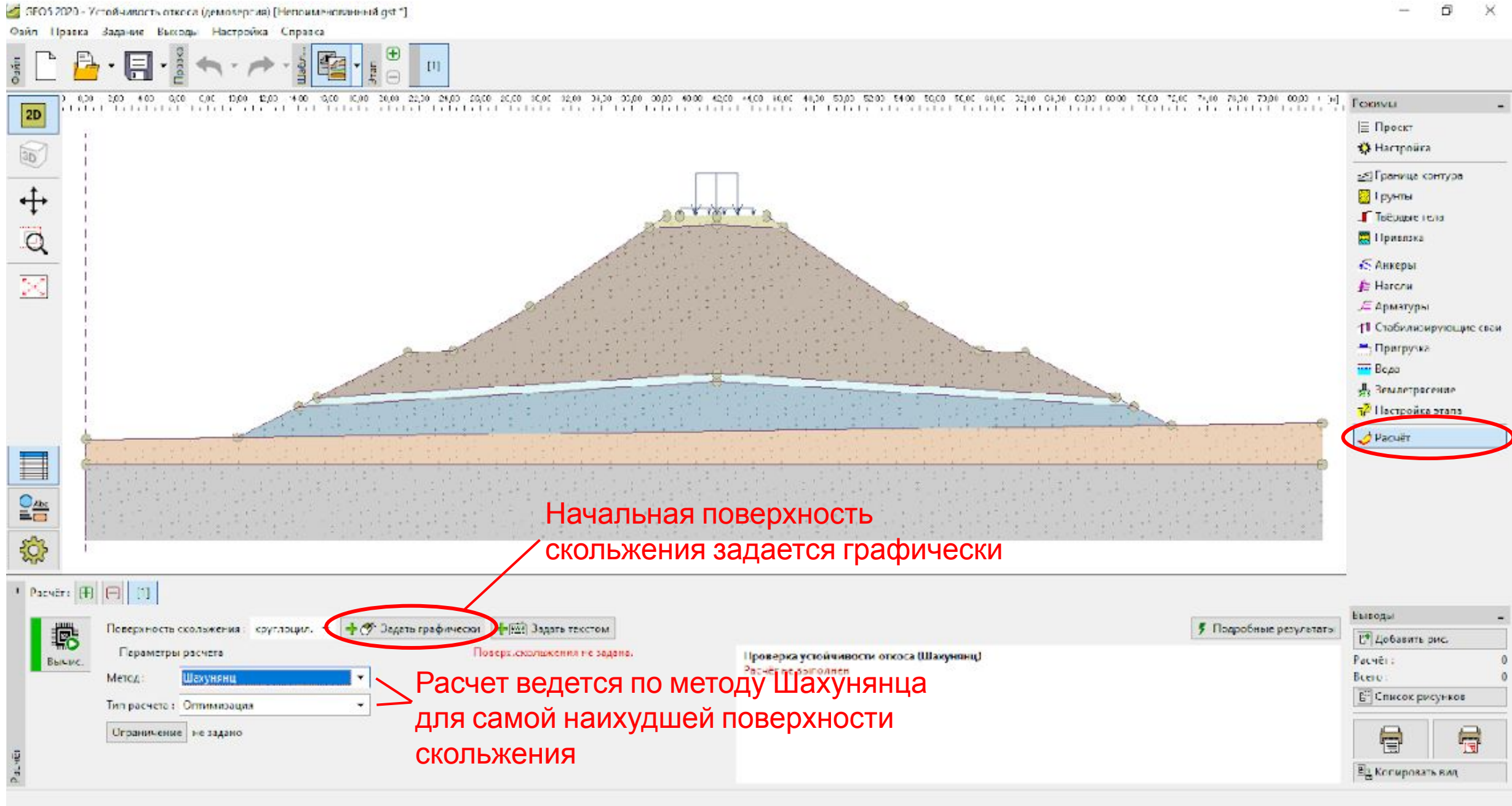
Величина: $q = 90,00$ [кН/м²]

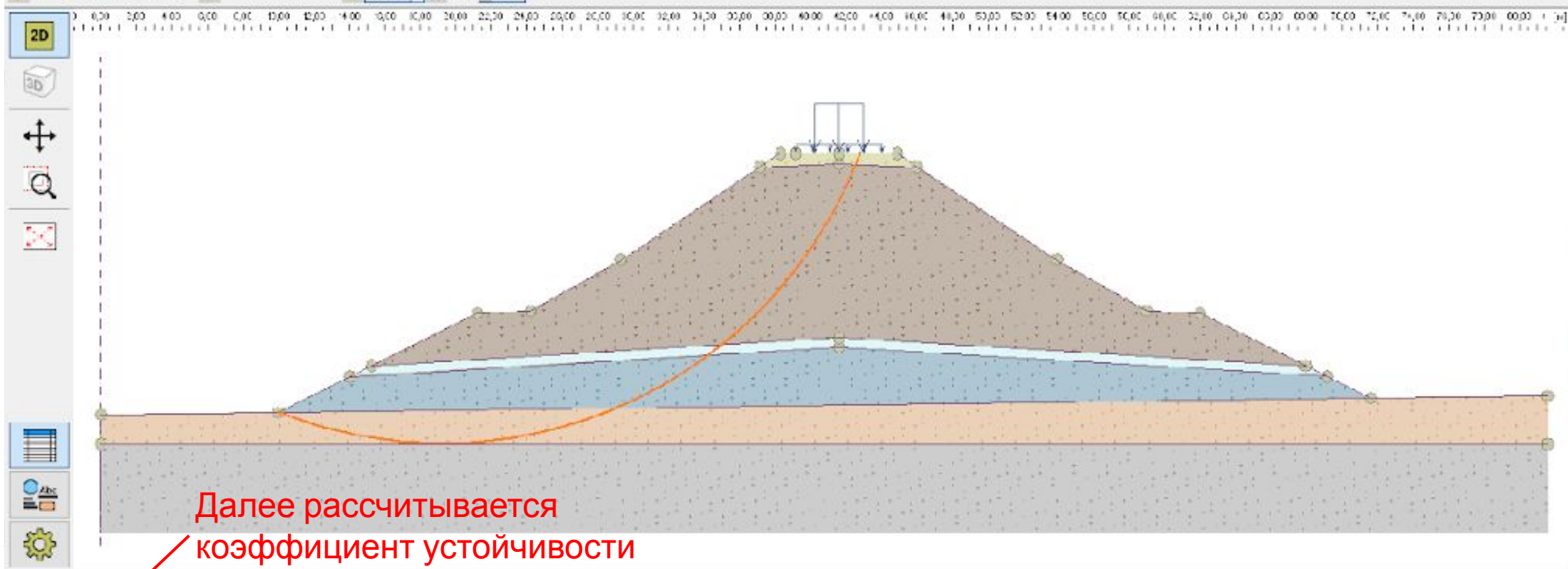
Добавить текстом

№	Имя	Тип	Воздействие	Положение z [м]	Нач. x [м]	Длина l [м]	Ширина b [м]
---	-----	-----	-------------	-----------------	------------	-------------	--------------

Ввести название нагрузки, начальное положение, длину и её величину

Далее необходимо добавить нагрузки от подвижного состава и веса верхнего строения пути





Далее рассчитывается коэффициент устойчивости

- Генерация
- Проект
- Настройка
- Границы контуров
- Грунты
- Таблицы слоев
- Привязка
- Анкеры
- Нагрузки
- Арматуры
- Стабилизирующие слои
- Пригрузки
- Вода
- Эксплуатация
- Настройка этапов
- Расчет

Расчет

Вычисл.

Поверхность скольжения:

Параметры расчета

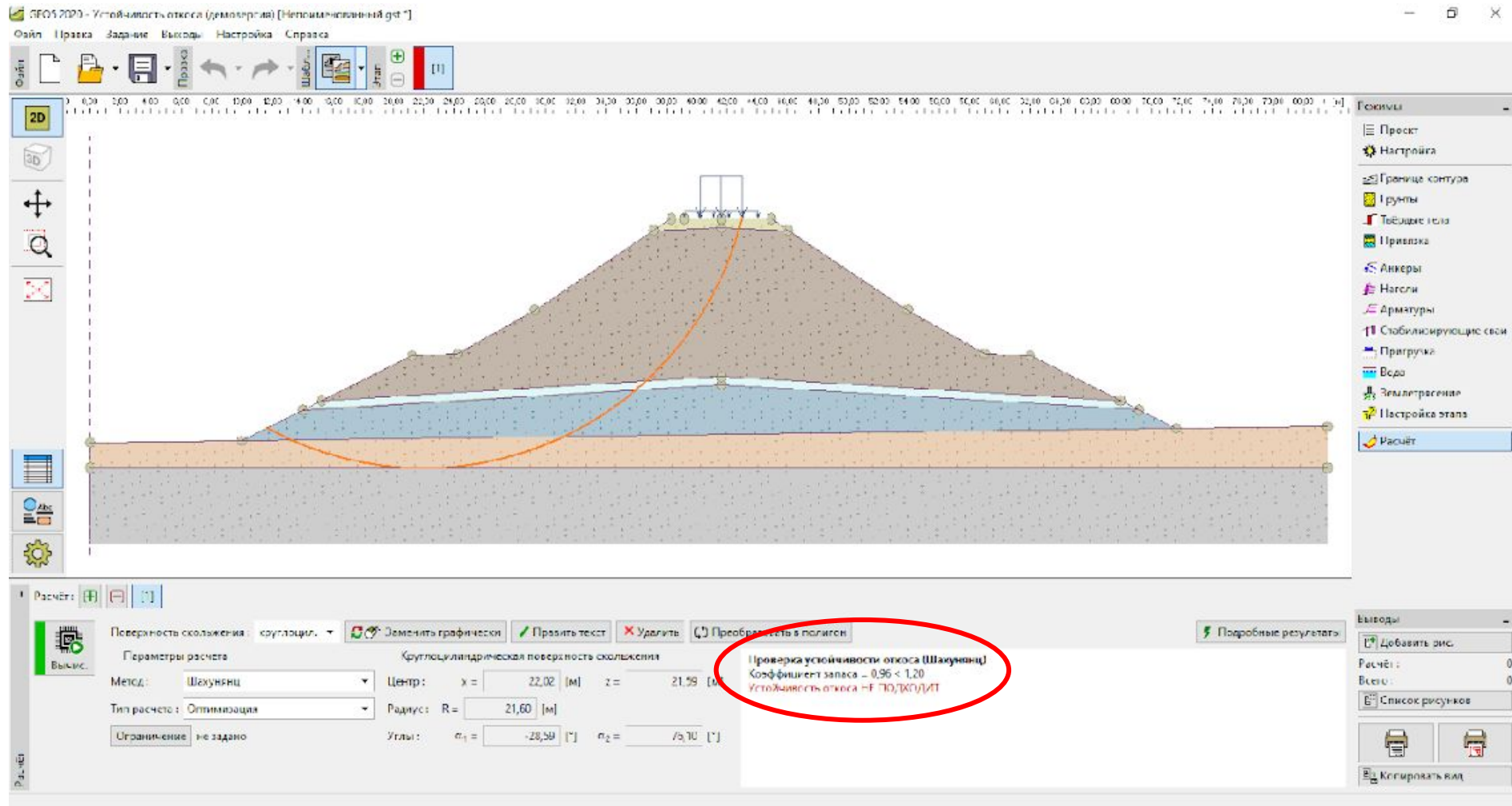
Метод: Центр: $x = 19,26$ [м] $z = 23,24$ [м]

Тип расчета: Радиус: $R = 25,19$ [м]

Ограничение: Углы: $\alpha_1 = -21,50$ [°] $\alpha_2 = 64,46$ [°]

Проверка устойчивости откоса (Шакуняц)
Расчет не выполняется

- Выводы
- - Расчет: 0
 - Всего: 0
 -
 -
 -



Статический коэффициент устойчивости получился меньше нормативного, поэтому необходимо разработать мероприятия по увеличению устойчивости. В начале рекомендуется увеличить ширину бермы (максимум до 10-12 м) и заново рассчитать коэффициент устойчивости. В случае, если устойчивость не обеспечивается, следующим вариантом является замена первого(слабого) слоя основания грунтом, с характеристиками защитного слоя с возвратом к начальной ширине бермы(3 м) и дальнейшим ее увеличением до тех пор, пока не будет обеспечена устойчивость.