



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Расчет устойчивости откоса и подпорной стенки

1589/1-00-КЖ.РР

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Расчет устойчивости откоса и подпорной стенки

1589/1-00-КЖ.РР

Директор



П.И. Квашнин

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Главный специалист



30.11.2021

М.Т. Темиров

(подпись, дата)

Главный инженер



30.11.2021

Е.В. Моренец

(подпись, дата)

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Цели и порядок расчета	5
2.	Исходные данные	7
2.1.	Описание грунтов, залегающих в основании канала и слагающих его откосов	7
2.2.	Гидрогеологические условия	8
2.3.	Свойства грунтов	8
2.4.	Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических свойств грунтов	11
3.	Расчет устойчивости откоса в существующем положении	12
3.1.	Сбор нагрузок, действующих на насыпь от железнодорожного полотна, расположенного на отм. + 432,3	13
3.2.	Расчет устойчивости откоса насыпи в существующем положении методом кругло цилиндрических поверхностей	14
3.3.	Расчет сдвигающей нагрузки от железнодорожного состава	16
3.4.	Расчет сдвигающей нагрузки от железнодорожного состава	19
3.5.	Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в существующем положении без учета сейсмической нагрузки	20
3.6.	Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в существующем положении с учетом сейсмической нагрузки	24
3.7.	Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в проектируемом положении без учета сейсмической нагрузки	29
3.8.	Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в проектируемом положении с учетом сейсмической нагрузки	34
3.9.	Заключение по результатам расчета	39
4.	Расчет армирования железобетонной подпорной стенки	40
4.1.	Габаритные размеры подпорной стенки	40
4.2.	Сбор нагрузок действующих на железобетонную подпорную стенку	41
4.2.1.	Вертикальная нагрузка от железнодорожного транспорта длиной 15м	41
4.2.2.	Вертикальная нагрузка от железнодорожного пути длиной 15,0м (от рельс и шпал)	41
	41	
	4.2.3. Вертикальная снеговая нагрузка на площади длиной 15,0м и шириной 9,0м	41

4.2.4. Суммарная вертикальная погонная нагрузка от железнодорожного вагона и от веса железной дороги	42
4.2.5. Погонная нагрузка на высоте 3,61м от низа подпорной стенки	42
4.3. Расчет бокового давления грунта на подпорную стенку от веса грунта насыпи при отсутствии нагрузки от железнодорожного состава и железной дороги	42
4.4. Расчет составляющей бокового давления грунта на подпорную стенку от цэкв	43
4.5. Расчет бокового давления грунта на участок стены высотой 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки при действии нагрузки от железнодорожного состава	44
4.6. Результаты расчета армирования подпорной стенки	46
4.6.1. Плита основания	46
4.6.2. Вертикальная стенка	50
4.6.3. Контрфорс	54
4.7. Данные о несущей способности основания подпорной стенки	57
4.8. Расчет подпорной стенки на опрокидывание	57
4.9. Расчет подпорной стенки на сдвиг	58
5. Учет влияния нагрузок и воздействий от реки	61

1. Цели и порядок расчета

Цель расчета заключается в определении коэффициента устойчивости откоса природного склона для наиболее опасной поверхности скольжения. Расчет минимального коэффициента устойчивости откоса ведем **методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения**.

Описание метода круглоцилиндрических поверхностей скольжения:

Предполагается, что центр О и радиус кривизны R поверхности скольжения заранее известны. В этом методе силы взаимодействия между соседними отсеками не учитываются, опираясь на то, что сумма этих сил должна быть равна нулю, а суммарный момент от них относительно точки О невелик. Касательная сила от всех нагрузок $P_{Qi} = P_i * \sin(\alpha_i)$ является сдвигающей силой, вызывающей сползание откоса.

Сила сопротивления сдвигу сыпучего тела, находящегося за поверхностью скольжения (реакция), может быть представлена в виде суммы сил трения и сцепления:

$$T_i = N_i * \tan(\phi_i) + C_i * S_i,$$

где:

N_i – нормальная реакция опоры;
 S_i – длина дуги поверхности скольжения в пределах данного элемента I_i ;
 ϕ_i – угол внутреннего трения в пределах дуги S_i ;
 C_i – удельное сцепление в пределах дуги S_i ;

Из уравнения проекций всех сил на нормаль к площадке отсека получаем:

$$N_i = P_{Ni} = P_i * \cos(\alpha_i),$$

Второе уравнение проекций остается неудовлетворенным, так как силы взаимодействия между отсеками не рассматривается. Условие равновесия откосов сводится к уравнению моментов всех сил, действующих на сползающую призму, относительно центра О поверхности скольжения.

Учет сейсмического воздействия при расчете противооползневых удерживающих конструкций осуществляется добавлением к расчетным усилиям, так называемой сейсмической силы Q_{ci} . Сейсмическая сила Q_{ci} приближенно определяется как доля от веса массы грунта, которая претерпевает сейсмическое воздействие:

$$Q_{ci} = \mu * P_i,$$

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 следует (приближенно) увеличивать в 1,5 раза.

Таблица 1.1. Коэффициент динамической устойчивости.

Сейсмическая Больность района	1 - 6	7	8	9	10	11	12
μ	0,00	0,025	0,05	0,1	0,25	0,50	>0.75

Направление силы Q_{ci} рекомендуется считать наиболее неблагоприятным. В связи с этим будем принимать, что сейсмические силы в каждом отсеке оползневого блока направлены параллельно основанию отсека. Условие равновесия откосов сводится к уравнению моментов всех сил, действующих на сползающую призму, относительно центра О поверхности скольжения.

$$\sum P_i x_i + R \sum Q_{ci} - \frac{R}{k} \sum T_i = 0$$

При этом силы сопротивления сдвигу уменьшены в k раз с учетом необходимости обеспечить определенный запас устойчивости откоса против разрушения.

$$k = \frac{R \sum T_i}{\sum P_i x_i + R \sum Q_{ci}}$$

Тогда коэффициент выражается:

$$k = \frac{R \sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + R \sum c_i s_i}{\sum P_i x_i + R \sum Q_{ci}}$$

Учитывая, что $\cos \alpha_i = \frac{x_i}{R}$, окончательно получим:

$$k = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + \sum c_i s_i}{\sum P_i \cos \alpha_i + \sum Q_{ci}}$$

2. Исходные данные

2.1. Описание грунтов, залегающих в основании канала и слагающих его откосов

Район работ располагается в южной части Кузбасса на площади распространения палеозойских образований, перекрытых чехлом рыхлых четвертичных отложений. Палеозой представлен породами нижнедевонского возраста мощностью 1100-1200м.

На участке изысканий по данным полевых и лабораторных работ до глубины 10,0м вскрыты следующие геолого-генетические комплексы:

- современные техногенные грунты;
- верхнечетвертичные делювиальные, представленные щебенистыми грунтами;
- нижнедевонские интрузивные породы.

Вскрытая толща грунтов разделена на однородные слои и элементы. Слои выделены по генетическим и номенклатурным признакам, а элементы - по физико-механическим свойствам в соответствии с ГОСТ 25100-2020 и ГОСТ 20522-2012.

Ниже приводится описание грунтов по выделенным геолого- генетическим и литологическим разновидностям грунтов (сверху — вниз).

Современные техногенные отложения (tQIV)

ИГЭ 1а. Насыпной крупнообломочный грунт – земляное полото железнодорожного пути (планомерно-возведенная насыпь). Представлен щебнем коренных пород различных фракций. Грунт малой степени водонасыщения.

ИГЭ 1б. Насыпной крупнообломочный грунт – (отвал грунтов). Встречен скважиной №2 с поверхности в виде слоя мощностью 5,7м. Слой представлен щебнем коренных пород различных фракций с суглинистым заполнителем до 10%. Грунт маловлажный слежавшийся, возраст насыпи более 10 лет.

Делювиальные верхнечетвертичные отложения (dQIII).

ИГЭ 2. Щебенистый делювиальный грунт представлен обломками сиенитов с суглинистым заполнителем до 10%. Грунты ИГЭ 2 встречены скважиной №2 на глубине 5,7м в

виде слоя мощностью 2,3м. Обломки крепкие с трудом ракалываются молотком. Грунт маловлажный.

Аллювиальные верхнечетвертичные отложения (aQIII).

ИГЭ 3. Галечниковый аллювиальный грунт (отложения р. Кондома) представлен окатанными и слабоокатанными обломками изверженных и метаморфических пород с суглинисто-песчаным заполнителем до 41%. Грунт, насыщенный водой. Встречен скважиной №1 с поверхности и шурфами №№1 и 5 на глубинах 0,8-1,0м, залегает в виде слоя мощностью 2,2м и вскрытой мощностью до 0,7м.

Нижнедевонские интрузивные образования (εD1).

ИГЭ 4. Скальный грунт – сиенит слабовыветрелый прочный зеленовато- серого цвета.

При бурении извлекается в виде столбиков керна высотой около 20см, которые с трудом раскалываются молотком. Залегает под щебенистым грунтом (ИГЭ 2) на глубине 8,0м (отметке 422,0м.абс) вскрытой мощностью 2,0м.

Условия распространения и залегания грунтов приведены на инженерно- геологических разрезах 1-1 ÷ 3-3 и инженерно-геологической колонке скважины №2 (чертеж арх.№ 16709).

2.2. Гидрогеологические условия

На период изысканий (октябрь 2021г.) на площадке работ скважиной №1 встречены подземные воды, приуроченные к аллювиальным отложениям р. Кондома. Водоносный горизонт вскрыт на глубине 0,6м (отм.422,4м.абс.). Воды этого водоносного горизонта пластово-поровые, безнапорные. Естественный режим подземных вод характеризуется закономерным подъёмом уровня в апреле-мае, приходящемся на период паводка и снеготаяния, и последующим плавным спадом до минимальных отметок, приходящихся на зимнюю межень.

Питание подземных вод местное, за счет перетока из реки Кондома и инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка осуществляется в местную гидравлическую сеть.

Уровень 1% обеспеченности – 425м.абс.

2.3. Свойства грунтов

На основании анализа характера пространственной изменчивости показателей физико-механических свойств грунтов площадки в соответствии ГОСТ 20522-2012 выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ).

ИГЭ 1а. Насыпной крупнообломочный грунт (планомерно-возведенная насыпь).

Средний гранулометрический состав грунта: щебень средний (100-60мм)

– 6%, щебень мелкий (60-10мм) – 58%, дресва (10-2мм) – 24%, песок (2-0,05мм) – 12%.

Обломки грунта прочные, коэффициент истираемости изменяется от 0,06 до 0,09д.ед., при среднем значении 0,08д.ед.

Плотность грунта (ρ) - 2,03г/см³. Угол внутреннего трения (ϕ) – 45°. Удельное сцепление (C) – 5кПа.

Расчётное сопротивление грунтов (R_0) составляет 250кПа (приложение Б СП 22.13330.2016).

Грунт находится в зоне сезонного промерзания и по степени морозной пучинистости является непучинистым (коэффициент дисперсности D=0).

Категория грунта по сейсмическим свойствам – II (СП 14.13330.2018). Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором

– 2 (п.416 ГЭСН 81-02-01-2020).

ИГЭ 1б. Насыпной крупнообломочный грунт (отвал грунтов).

Средний гранулометрический состав грунта: щебень крупный (200- 100мм) – 8%, щебень средний (100-60мм) – 15%, щебень мелкий (60-10мм) – 40%, дресва (10-2мм) – 24%, песок (2-0,05мм) – 13%, пыль и глина <1%.

Обломки грунта от средней прочности до прочных, коэффициент истираемости изменяется от 0,04 до 0,25д.ед., при среднем значении 0,13д.ед.

Плотность грунта (ρ) - 2,03г/см³. Влажность (W) – 0,07д.ед. Показатель текучести (заполнитель) (I_L) - -0,90д.ед. Угол внутреннего трения (ϕ) – 32°. Удельное сцепление (C) – 12кПа.

Модуль деформации (E) – 56,2МПа.

Расчётное сопротивление грунтов (R_0) составляет 180кПа (приложение Б СП 22.13330.2016).

Грунт находится в зоне сезонного промерзания и по степени морозной пучинистости является непучинистым (коэффициент дисперсности D=0).

Категория грунта по сейсмическим свойствам – II (СП 14.13330.2018). Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором

– 2 (п.416 ГЭСН 81-02-01-2020).

ИГЭ 2. Галечниковый аллювиальный грунт (отложения р. Кондома).

Представлен хорошо окатанными обломками изверженных и метаморфических пород с песчано-суглинистым заполнителем до 25%. Грунт маловлажный с поверхности и насыщенный водой с глубины 0,6м (отм.422,4м.абс.).

Состав: галька крупная (>100мм) – 14%, средняя (100-60мм) – 12%, мелкая (60-10мм) – 33%, гравий (10-2мм) – 16%, песок (2-0,05мм) - 20%, пыль (0,05-0,01мм) – 3%, глина (<0,005) – 2%.

Плотность грунта (ρ) – 2,20г/см³.

Расчётное сопротивление грунтов (R_0) составляет 600кПа (табл. Б.1 СП 22.13330.2016).

Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором

– 2 (п.66 ГЭСН 81-02-01-2020).

ИГЭ 3. Щебенистый делювиальный грунт.

Средний гранулометрический состав грунта: щебень средний (100-60мм)

– 35%, щебень мелкий (60-10мм) – 36%, дресва (10-2мм) – 13%, песок (2- 0,05мм) – 11%, пыль (0,05-0,009мм) – 2%, глина (<0,009мм) – 1%.

Обломки грунта прочные, коэффициент истираемости (K_{fr}) составляет 0,08д.ед.

Влажность природная (W) – 0,07д.ед. Показатель текучести (I_L) - -0,26д.ед.. Угол внутреннего трения (ϕ) – 32°.Удельное сцепление (C) – 13кПа. Модуль деформации (E) – 58,1МПа. Плотность грунта (ρ) - 2,09г/см³.

Расчётное сопротивление грунтов (R_0) составляет 450кПа (табл. Б.1 СП 22.13330.2016).

Категория грунта по сейсмическим свойствам – II (СП 14.13330.2018). Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором

– 2 (п.416 ГЭСН 81-02-01-2020).

ИГЭ 4. Скальный грунт – сиенит слабовыветрелый прочный.Плотность грунта – 2,87 г/см³;

Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии

(R_c) – 101,5 МПа;Коэффициент выветрелости (K_{wr}) – 0,99 д.ед;Коэффициент размягчаемости (K_{sof}) – 0,84 д.ед. (грунт неразмягчаемый в воде).

Категория грунта по сейсмическим свойствам – I (СП 14.13330.2018).

2.4. Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических свойств грунтов

Наименование показателей		Единицы измерения	ИГЭ 1а. Насыпной крупнообломочный грунт (планомерно возведенная насыпь)	ИГЭ 16. Насыпной крупнообломочный грунт (отвал грунтов)	ИГЭ 2. Галечниковый аллювиальный грунт	ИГЭ 3. Щебенистый аллювиально-элювиальный грунт	ИГЭ 4. Скальный грунт – сиенит слабовыветрелый прочный
			Нормативные значения показателей				
Влажность <u>природная</u> , W			0,05	0,07	-	0,07	-
Число пластичности, I _{pl}		д.ед.	-	0,12	-	0,11	-
Показатель текучести, I _L	при W		-	-0,90	-	-0,26	-
Плотность, ρ	при W	г/см ³	2,03	2,03	2,20	2,09	2,87
Угол внутреннего трения, φ	при W	градус	45	32	-	32	-
Удельное сцепление, С	при W	кПа	5	12	-	13	-
Модуль деформации, Е	при W	МПа	-	56,2	-	58,1	-
Коэффициент <u>выветрелости</u> , K _{wr}		д.ед.	-	-	-	-	0,99
Коэффициент <u>размягчаемости</u> в воде, K _{sof}		д.ед.	-	-	-	-	0,84
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, R _{c,н}		МПа	-	-	-	-	101,50
Расчетное сопротивление, R ₀	при W	кПа	250	180	600	450	-
Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором (ГЭСН 81-02-01-2020)			2 (п.41б)	2 (п.41б)	2 (п.6б)	2 (п.41б)	-

3. Расчет устойчивости откоса в существующем положении

Расчет минимального коэффициента устойчивости откоса насыпи ведем в зоне расположения разреза 2-2 выполненного в разделе 1730-19-ИГИ, см. рисунок 3.1.

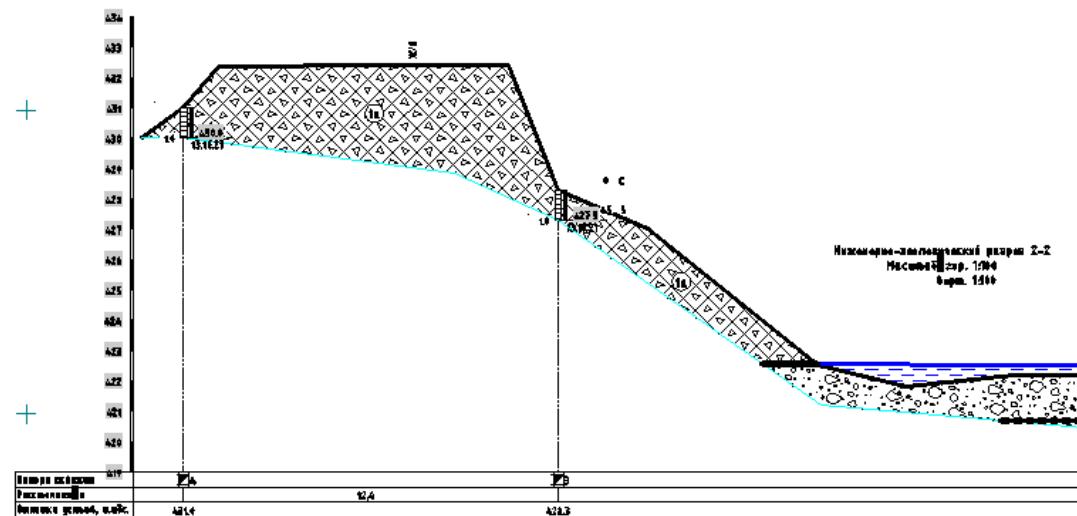
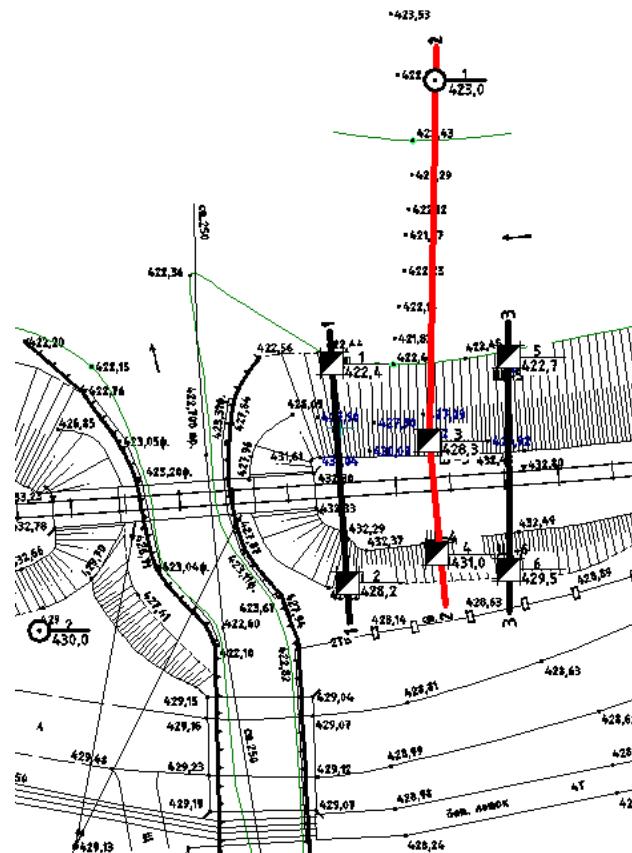


Рисунок 3.1. Разрез 2-2 (1730-19-ИГИ).



3.1. Сбор нагрузок, действующих на насыпь от железнодорожного полотна, расположенного на отм. + 432,3

3.1.1. Нагрузка от железнодорожного вагона длиной 15м.

$Q_1\text{норм} = 140\text{тс};$

$Q_1\text{расч} = 140\text{тс} * 1,3 = 182\text{тс};$

где,

1,3 – коэффициент запаса по нагрузке;

3.1.2. Нагрузка от железнодорожного пути длиной 15,0м (от рельс и шпал).

$Q_2\text{норм} = 6\text{тс};$

$Q_2\text{расч} = 6\text{тс} * 1,3 = 7,8\text{тс};$

где, 1,3 – коэффициент запаса по нагрузке;

3.1.3. Снеговая нагрузка на площади длиной 15,0м и шириной 9,0м.

Согласно СП 20.13330.2016 территория изыскания расположена в VII снеговом районе,

В соответствии с таблицей 10.1 нормативное значение веса снегового покрова на 1м^2 горизонтальной поверхности земли равна $S_g = 350\text{кг}/\text{м}^2$.

$Q_3\text{норм} = 0,350\text{тс}/\text{м}^2 * 9\text{м} * 15\text{м} = 47,25\text{тс};$

$Q_2\text{расч} = 47,25\text{тс} * 1,4 = 66,15\text{тс};$

где,

$0,35\text{тс}/\text{м}^2$ – нормативное значение снеговой нагрузки

9м – ширина верха насыпи;

15м – длина площади сбора нагрузки;

1,4 – коэффициент запаса по нагрузке;

Расчет нагрузки на участок насыпи длиной 1м:

$$((182\text{тс} / 2) / 4\text{м} + (7,8\text{тс} / 15\text{м}) / 2 + (47,25\text{тс} / 15\text{м}) / 2 == 11,37\text{тс}/\text{м} + 0,3\text{тс}/\text{м} + 1,57\text{тс}/\text{м} = 13,25\text{тс}/\text{м}$$

Принимаем 15,0тс/м.

3.2. Расчет устойчивости откоса насыпи в существующем положении методом круглоцилиндрических поверхностей

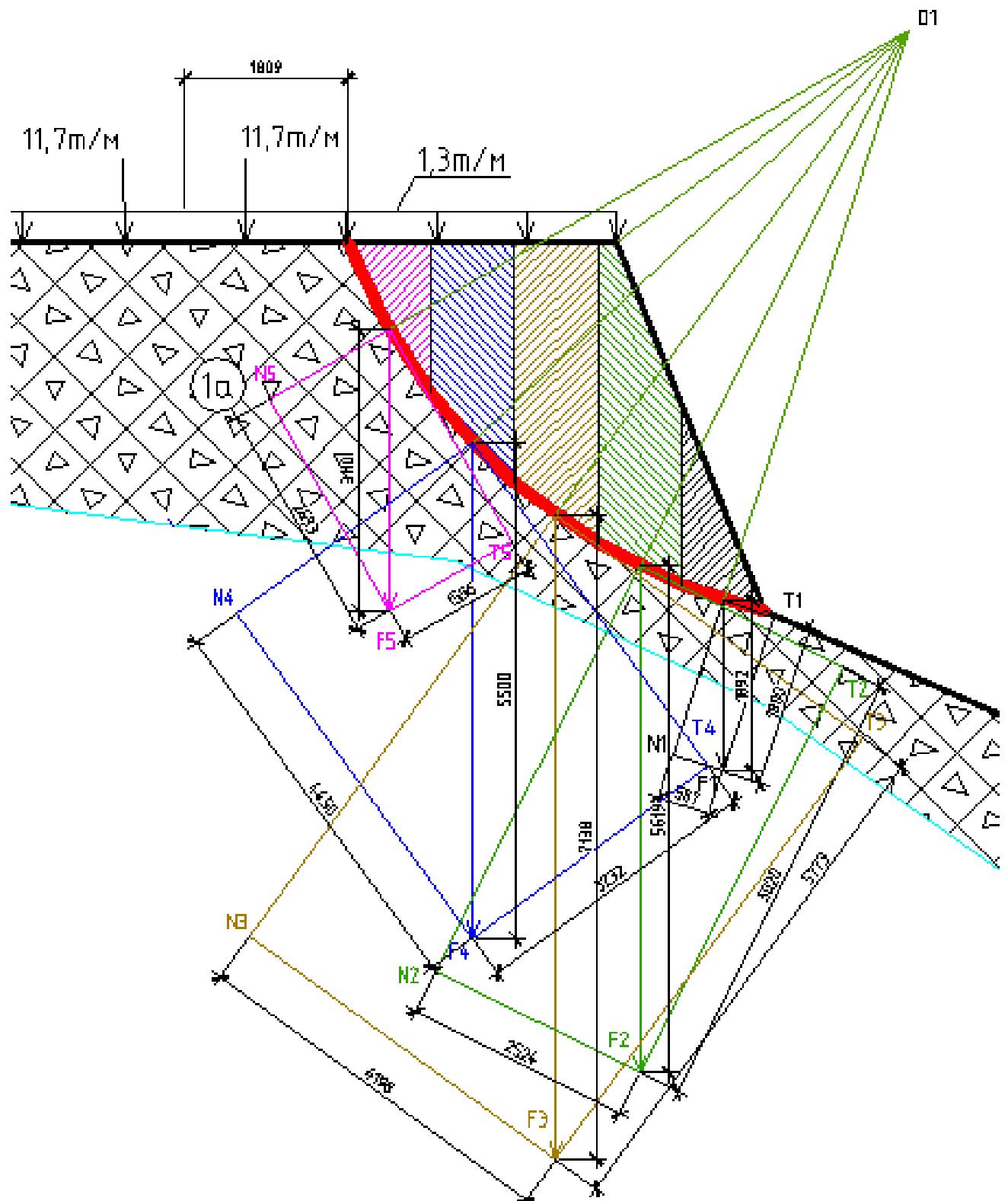


Рисунок 3.2.1. Метод куглоцилиндрических поверхностей скольжения. Итерация 1.

Метод куглоцилиндрических поверхностей скольжения. Итерация 2.

	Площадь сечения массива S_i , м^2	Вес грунтового массива, $F_i, \text{т}$	Нормальная составляющая $N_i, \text{т}$	Касательная составляющая $T_i, \text{т}$	$\text{tg}(\phi)$	$C, \text{тс}/\text{м}^2$	Удерживающие силы, тс	Сдвигающие силы, тс
I	0,945	1,89	1,80	0,60	1	0,5	2,25	0,6
II	2,67	5,60	5,02	2,54	1	0,5	5,52	2,54
III	2,78	7,14	5,80	4,20	1	0,5	6,3	4,2
IV	2,0	5,50	3,2	4,40	1	0,5	3,85	4,4
V	0,86	3,11	1,60	2,69	1	0,5	2,55	2,69

3.3. Расчет сдвигающей нагрузки от железнодорожного состава

Исходные данные. $h = 4.10 \text{ м}$; $\gamma_{fq} = 1.00$; $q = 8.00 \text{ т/м}^2$; $\gamma_{fg} = 1.00$; $\gamma = 2.10 \text{ т/м}^3$; $c = 0.50 \text{ т/м}^2$; $\varphi = 45.0^\circ$; $\delta = 0^\circ$; $\theta = 0^\circ$; $\beta = 0^\circ$; вычисляется активное давление.

Расчет. Коэффициент бокового давления:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45 - \varphi/2) = 0.172$$

Высота вертикального откоса:

$$h_c = \frac{2c - q\sqrt{K_a}}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 0.50 - 8.00\sqrt{0.172}}{2.10\sqrt{0.172}} = -2.66 \text{ м}$$

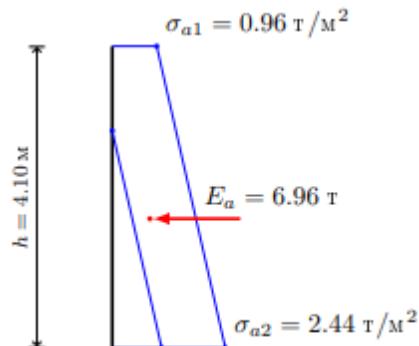
Давление в характерных точках по глубине:

$$\sigma_{a1} = qK_a - 2c\sqrt{K_a} = 8.00 \cdot 0.172 - 2 \cdot 0.50\sqrt{0.172} = 0.96 \text{ т/м}^2$$

$$\sigma_{a2} = (\gamma h + q)K_a - 2c\sqrt{K_a} = (2.10 \cdot 4.10 + 8.00)0.172 - 2 \cdot 0.50\sqrt{0.172} = 2.44 \text{ т/м}^2$$

$$E_a = 0.5bh(\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) = 0.5 \cdot 1.0 \cdot 4.10(0.96 + 2.44) = 6.96 \text{ т}$$

$$h_E = \frac{h}{3} \cdot \frac{2\sigma_{a1} + \sigma_{a2}}{\sigma_{a1} + \sigma_{a2}} = \frac{4.10}{3} \cdot \frac{2 \cdot 0.96 + 2.44}{0.96 + 2.44} = 1.75 \text{ м}$$



Эпюра бокового давления имеет форму трапеции. Давление в верхней и нижней частях эпюры составляет соответственно $\sigma_{a1} = 0.96 \text{ т/м}^2$ и $\sigma_{a2} = 2.44 \text{ т/м}^2$. Суммарное горизонтальное усилие от бокового давления составляет $E_a = 6.96 \text{ т}$.

Суммарная удерживающая сила: $N = 20,47 \text{ тс}$;

Суммарная сдвигающая сила: $T = 14,43 \text{ тс} + 6.96 \text{ тс} = 21,39 \text{ тс}$;

Коэффициент запаса устойчивости: $K = N / T = 20,47 \text{ тс} / 21,39 \text{ тс} = 0.95$;

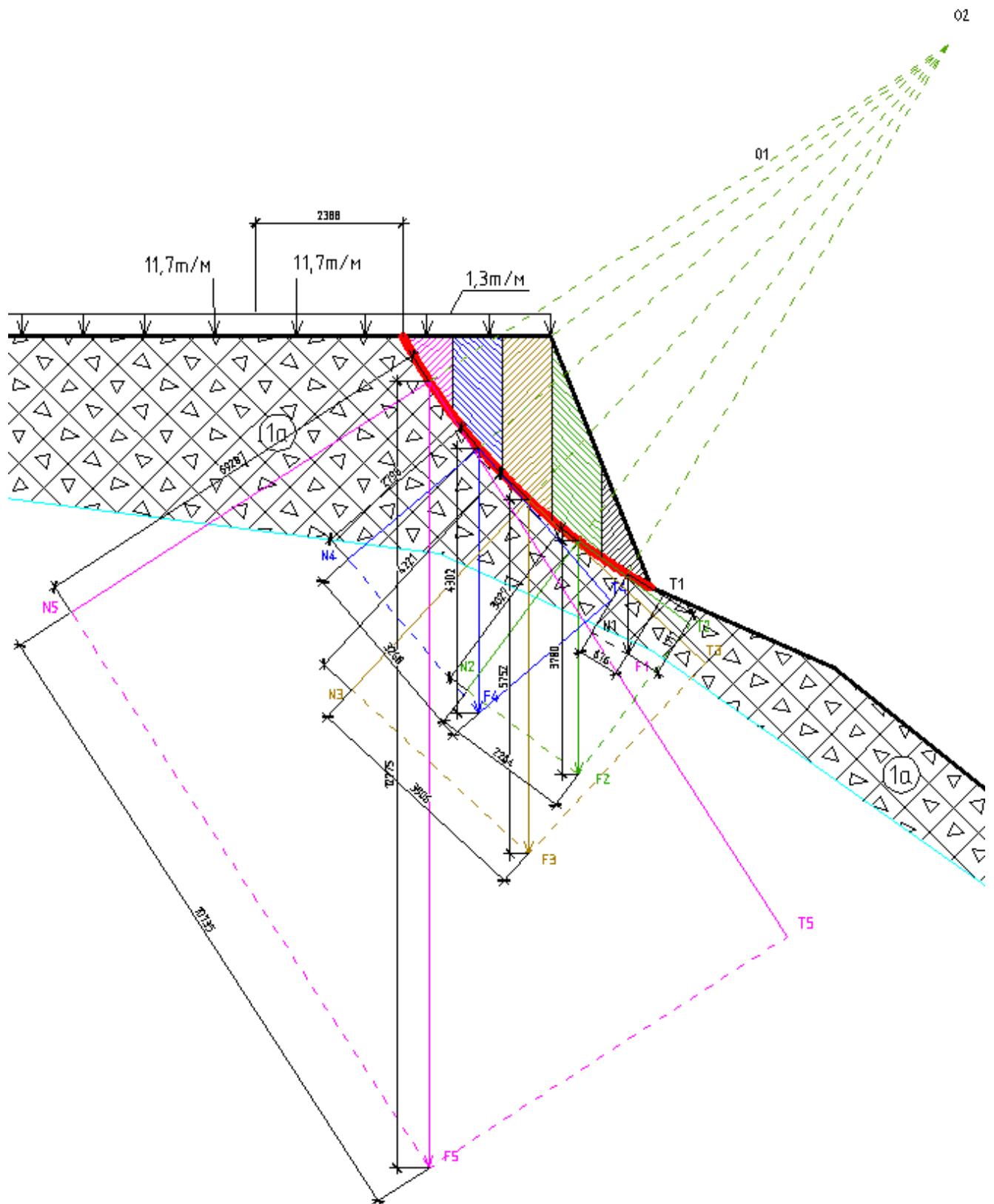


Рисунок 3.3.4. Метод куглоцилиндрических поверхностей скольжения. Итерация 2.

Метод куглоцилиндрических поверхностей скольжения. Итерация 2.

	Площадь сечения массива S_i , м^2	Вес грунтового массива, $F_i, \text{т}$	Нормальная составляющая $N_i, \text{т}$	Касательная составляющая $T_i, \text{т}$	$\text{tg}(\phi)$	$C, \text{тс}/\text{м}^2$	Удерживающие силы, тс	Сдвиг ающие силы, тс
I	0,62	1,302	1,11	0,675	1	0,5	1,56	0,675
II	1,80	3,78	3,03	2,26	1	0,5	3,53	2,26
III	2,12	5,75	4,22	4,0	1	0,5	4,72	4,0
IV	1,43	4,30	2,8	3,3	1	0,5	3,40	3,3
V	5,46	12,77	7,0	11,0	1	0,5	7,75	11,0

3.4. Расчет сдвигающей нагрузки от железнодорожного состава

Исходные данные. $h = 4.10$ м; $\gamma_{fq} = 1.00$; $q = 7.00$ т/м²; $\gamma_{fg} = 1.00$; $\gamma = 2.10$ т/м³; $c = 0.50$ т/м²; $\varphi = 45.0^\circ$; $\delta = 0^\circ$; $\theta = 0^\circ$; $\beta = 0^\circ$; вычисляется активное давление.

Расчет. Коэффициент бокового давления:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45 - \varphi/2) = 0.172$$

Высота вертикального откоса:

$$h_c = \frac{2c - q\sqrt{K_a}}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{2 \cdot 0.50 - 7.00\sqrt{0.172}}{2.10\sqrt{0.172}} = -2.18 \text{ м}$$

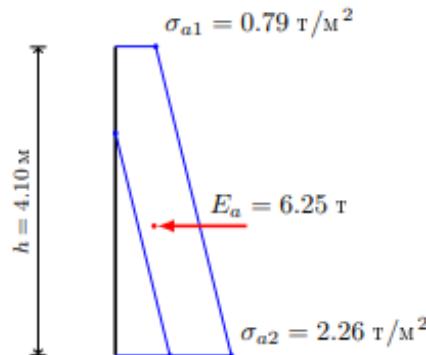
Давление в характерных точках по глубине:

$$\sigma_{a1} = qK_a - 2c\sqrt{K_a} = 7.00 \cdot 0.172 - 2 \cdot 0.50\sqrt{0.172} = 0.79 \text{ т/м}^2$$

$$\sigma_{a2} = (\gamma h + q)K_a - 2c\sqrt{K_a} = (2.10 \cdot 4.10 + 7.00)0.172 - 2 \cdot 0.50\sqrt{0.172} = 2.26 \text{ т/м}^2$$

$$E_a = 0.5bh(\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) = 0.5 \cdot 1.0 \cdot 4.10 (0.79 + 2.26) = 6.25 \text{ т}$$

$$h_E = \frac{h}{3} \cdot \frac{2\sigma_{a1} + \sigma_{a2}}{\sigma_{a1} + \sigma_{a2}} = \frac{4.10}{3} \cdot \frac{2 \cdot 0.79 + 2.26}{0.79 + 2.26} = 1.72 \text{ м}$$



Эпюра бокового давления имеет форму трапеции. Давление в верхней и нижней частях эпюры составляет соответственно $\sigma_{a1} = 0.79$ т/м² и $\sigma_{a2} = 2.26$ т/м². Суммарное горизонтальное усилие от бокового давления составляет $E_a = 6.25$ т.

Суммарная удерживающая сила: $N = 20,95\text{тc}$;

Суммарная сдвигающая сила: $T = 21,23\text{тc} + 6.25\text{тc} = 27,488\text{тc}$;

Коэффициент запаса устойчивости: $K = N / T = 20,95\text{тc} / 27,488\text{тc} = 0.76$;

3.5. Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в существующем положении без учета сейсмической нагрузки

Метод расчета: Федоровского – Курилло. Схема откоса

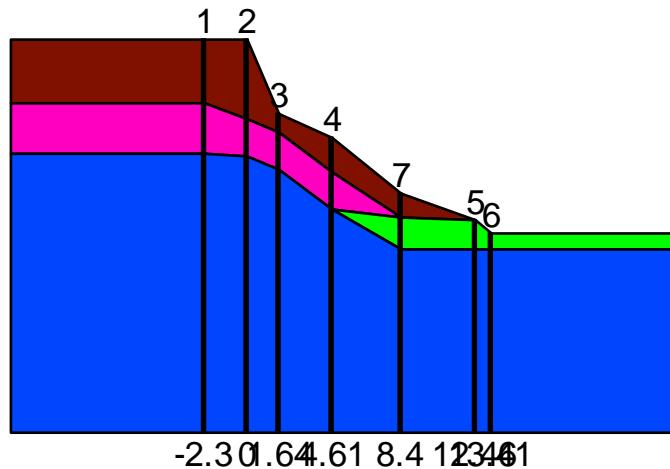


Рисунок 3.5.1. Схема расположения скважин для задания расчетных характеристик грунтов.

Список грунтов				
Наименование	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Тип
	град	кПа	Т/м ³	
Крупнообломочный (ИГИ 1а)	32	12	2	
Щебнистый (ИГИ 3)	32	13	2.1	
Скальный (ИГИ 4)	32	0	2.8	Нет линии скольжения
Гелечниковый (ИГИ 2)	32	0	2.2	Нет линии скольжения

Скважины			
Наименование	Координата (м)	Описание скважин	
		Грунт	
			Отметка верхней границы
1) 1	-2.3	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	428.8
		Скальный (ИГИ 4)	426
2) 2	0	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.94
		Скальный (ИГИ 4)	425.94
3) 3	1.64	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	428.2
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.2
		Скальный (ИГИ 4)	425.2
4) 4	4.61	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	426.87
		Щебнистый (ИГИ 3)	425.071
		Скальный (ИГИ 4)	423.071
5) 5	12.46	Галечниковый (ИГИ 2)	422.43
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
6) 6	13.41	Галечниковый (ИГИ 2)	421.71
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
7) 7	8.4	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	423.9
		Галечниковый (ИГИ 2)	422.5
		Скальный (ИГИ 4)	420.8

Нагрузки				
Номер скважин	Вертикальная слева	Вертикальная справа	Горизонтальная слева	Горизонтальная справа
	Т/м	Т/м	Т/м	Т/м
1	15	15	0	0
2	15	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0



Вертикальные нагрузки



Горизонтальные нагрузки

Ускорение в грунте при сейсмическом воздействии 0 м/сек². Угол приложения сейсмической нагрузки 0 град.

Параметры расчета				
Номер задачи	Левая граница начала оползня	Правая граница начала оползня	Левая граница конца оползня	Правая граница конца оползня
	м	м	м	
1	-3	6	9	12

Допускаемая погрешность 0.01 м

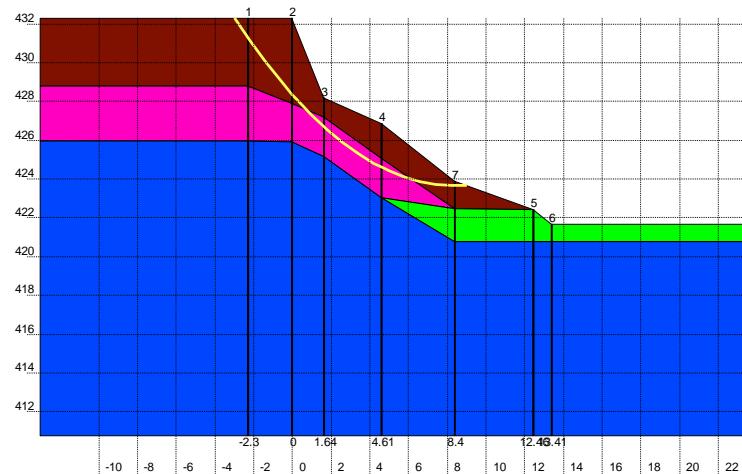


Рисунок 3.5.2. Схема расположения расчетной линии скольжения.

Номер задачи	Коэффициент запаса устойчивости	Цвет линии скольжения
1	0.957	Желтый

Координата X	Глубина
М	М
Задача 1	
-3	0
-2.3	1.03
-2.2	1.172
-1.4	2.258
-0.6	3.259
0	3.954
0.2	3.675
1	2.506
1.64	1.509
1.8	1.579
2.6	1.881
3.4	2.097
4.2	2.228
4.61	2.262
5	2.143
5.8	1.834
6.6	1.44
7.4	0.961
8.2	0.397
8.4	0.242
9	5.684e-014

3.6. Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в существующем положении с учетом сейсмической нагрузки

Метод расчета: Федоровского – Курилло.

Схема откоса

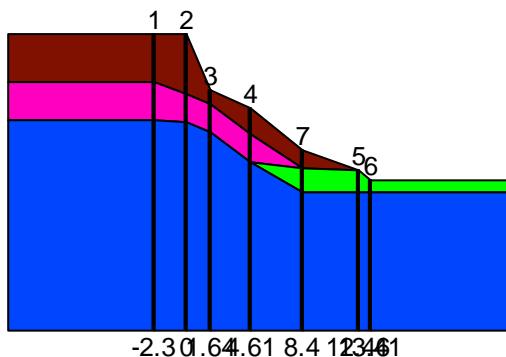


Рисунок 3.6.1. Схема расположения скважин для задания расчетных характеристик грунтов.

Список грунтов				
Наименование	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Тип
	град	кПа	Т/м ³	
Крупнообломочный (ИГИ 1а)	32	12	2	
Щебнистый (ИГИ 3)	32	13	2.1	
Скальный (ИГИ 4)	32	0	2.8	Нет линии скольжения
Гелечниковый (ИГИ 2)	32	0	2.2	Нет линии скольжения

Скважины			
Наименование	Координата (м)	Описание скважин	
		Грунт	Отметка верхней границы
1) 1	-2.3	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	428.8
		Скальный (ИГИ 4)	426
2) 2	0	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.94
		Скальный (ИГИ 4)	425.94
3) 3	1.64	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	428.2
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.2
		Скальный (ИГИ 4)	425.2
4) 4	4.61	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	426.87
		Щебнистый (ИГИ 3)	425.071
		Скальный (ИГИ 4)	423.071
5) 5	12.46	Гелечниковый (ИГИ 2)	422.43
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
6) 6	13.41	Гелечниковый (ИГИ 2)	421.71
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
7) 7	8.4	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	423.9
		Гелечниковый (ИГИ 2)	422.5
		Скальный (ИГИ 4)	420.8

Нагрузки				
Номер скважины	Вертикальная слева	Вертикальная справа	Горизонтальная слева	Горизонтальная справа
	Т/м	Т/м	Т/м	Т/м
1	15	15	0	0
2	15	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0



Вертикальные нагрузки



Горизонтальные нагрузки

Ускорение в грунте при сейсмическом воздействии 1.962 м/сек². Угол приложения сейсмической нагрузки 0 град

Параметры расчета				
Номер задачи	Левая граница начала оползня	Правая граница начала оползня	Левая граница конца оползня	Правая граница конца оползня
	м	м	м	
1	-3	6	9	12

Допускаемая погрешность 0.01 м

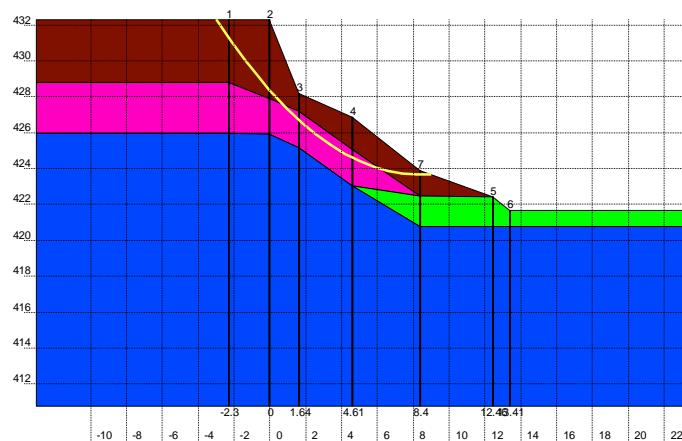


Рисунок 3.6.2. Схема расположения расчетной линии скольжения.

Линии скольжения

Номер задачи	Коэффициент запаса устойчивости	Цвет линии скольжения
1	0.797	Yellow

Координата X	Глубина
M	M
Задача 1	
-3	0
-2.3	1.03
-2.2	1.172
-1.4	2.258
-0.6	3.259
0	3.954
0.2	3.675
1	2.506
1.64	1.509
1.8	1.579
2.6	1.881
3.4	2.097
4.2	2.228

4.61	2.262
5	2.143
5.8	1.834
6.6	1.44
7.4	0.961
8.2	0.397
8.4	0.242
9	5.684e-014

3.7. Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в проектируемом положении без учета сейсмической нагрузки

Метод расчета: Федоровского – Курилло. Схема откоса

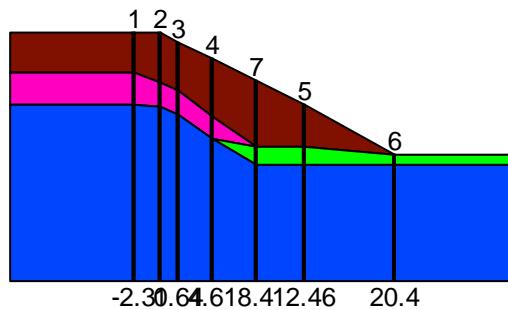


Рисунок 3.7.1. Схема расположения скважин для задания расчетных характеристик грунтов.

Список грунтов				
Наименование	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Тип
	град	кПа	Т/м ³	
Крупнообломочный (ИГИ 1а)	32	12	2	
Щебнистый (ИГИ 3)	32	13	2.1	
Скальный (ИГИ 4)	32	0	2.8	Нет линии скольжения
Гелечниковый (ИГИ 2)	32	0	2.2	Нет линии скольжения

Скважины			
Наименование	Координата (м)	Описание скважин	
		Грунт	Отметка верхней границы
1) 1	-2.3	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	428.8
		Скальный (ИГИ 4)	426
2) 2	0	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.94
		Скальный (ИГИ 4)	425.94
3) 3	1.64	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	428.2
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.2
		Скальный (ИГИ 4)	425.2
4) 4	4.61	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	426.87
		Щебнистый (ИГИ 3)	425.071
		Скальный (ИГИ 4)	423.071
5) 5	12.46	Гелечниковый (ИГИ 2)	422.43
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
6) 6	13.41	Гелечниковый (ИГИ 2)	421.71
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
7) 7	8.4	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	423.9
		Гелечниковый (ИГИ 2)	422.5
		Скальный (ИГИ 4)	420.8

Нагрузки				
Номер скважин	Вертикальная слева	Вертикальная справа	Горизонтальная слева	Горизонтальная справа
	Т/м	Т/м	Т/м	Т/м
1	15	15	0	0
2	15	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0



Вертикальные нагрузки



Горизонтальные нагрузки

Ускорение в грунте при сейсмическом воздействии 1.962 м/сек². Угол приложения сейсмической нагрузки 0 град

Параметры расчета				
Номер задачи	Левая граница начала оползня	Правая граница начала оползня	Левая граница конца оползня	Правая граница конца оползня
	м	м	м	
1	-3	6	9	12

Допускаемая погрешность 0.01 м

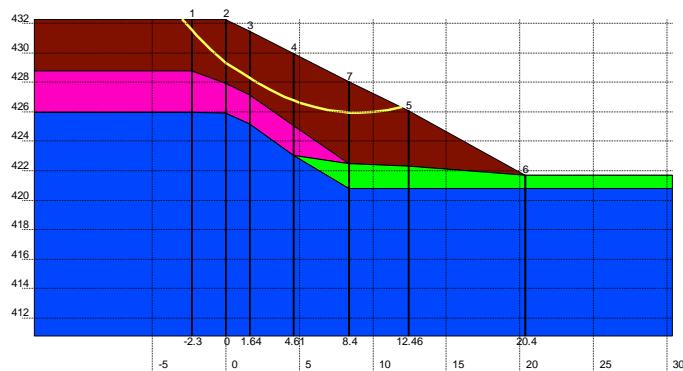


Рисунок 3.7.2. Схема расположения расчетной линии скольжения.

Линии скольжения

Номер задачи	Коэффициент запаса устойчивости	Цвет линии скольжения
1	1.67	Yellow

Координата X	Глубина
M	M
Задача 1	
-3	0
-2.3	0.738
-2	1.051
-1	2.075
0	2.979
1	3.134
1.64	3.21
2	3.239
3	3.286
4	3.26
4.61	3.201
5	3.152
6	2.964
7	2.687

Координата X	Глубина
М	М
8	2.321
8.4	2.15
9	1.872
10	1.337
11	0.744
12	0

3.8. Расчет устойчивости откоса насыпи в автоматизированном программном комплексе ОТКОС. Расчет в проектируемом положении с учетом сейсмической нагрузки

Метод расчета: Федоровского – Курилло. Схема откоса

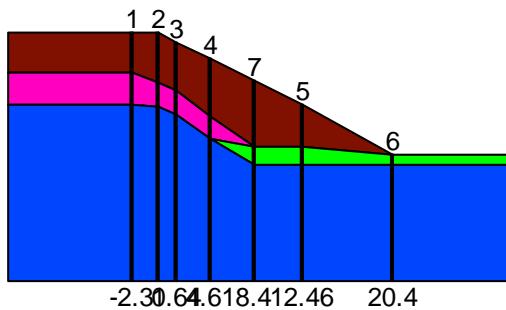


Рисунок 3.8.1. Схема расположения скважин для задания расчетных характеристик грунтов.

Список грунтов					
Наименование	Угол внутренн его трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Тип	
	град	кПа	Т/м ³		
Крупнообломочный (ИГИ 1а)	32	12	2		
Щебнистый (ИГИ 3)	32	13	2.1		
Скальный (ИГИ 4)	32	0	2.8	Нет линии скольжения	
Галечниковый (ИГИ 2)	32	0	2.2	Нет линии скольжения	

Скважины			
Наименование	Координата (м)	Описание скважин	
		Грунт	Отметка верхней границы
1) 1	-2.3	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	428.8
		Скальный (ИГИ 4)	426
2) 2	0	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	432.3
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.94
		Скальный (ИГИ 4)	425.94
3) 3	1.64	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	428.2
		Щебнистый (ИГИ 3)	427.2
		Скальный (ИГИ 4)	425.2
4) 4	4.61	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	426.87
		Щебнистый (ИГИ 3)	425.071
		Скальный (ИГИ 4)	423.071
5) 5	12.46	Гелечниковый (ИГИ 2)	422.43
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
6) 6	13.41	Гелечниковый (ИГИ 2)	421.71
		Скальный (ИГИ 4)	420.8
7) 7	8.4	Крупнообломочный (ИГИ 1а)	423.9
		Гелечниковый (ИГИ 2)	422.5
		Скальный (ИГИ 4)	420.8

Нагрузки				
Номер скважины	Вертикальная слева	Вертикальная справа	Горизонтальная слева	Горизонтальная справа
	Т/м	Т/м	Т/м	Т/м
1	15	15	0	0
2	15	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0



Вертикальные нагрузки



Горизонтальные нагрузки

Ускорение в грунте при сейсмическом воздействии 1.962 м/сек². Угол приложения сейсмической нагрузки 0 град.

Параметры расчета				
Номер задачи	Левая граница начала оползня	Правая граница начала оползня	Левая граница конца оползня	Правая граница конца оползня
	м	м	м	
1	-3	6	9	12

Допускаемая погрешность 0.01 м

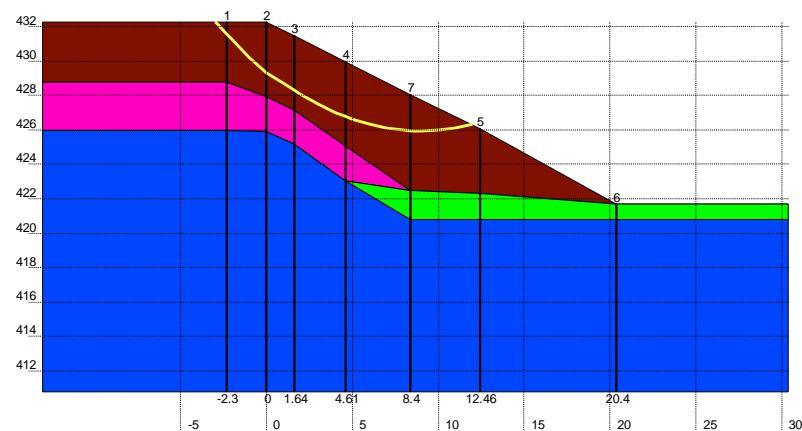


Рисунок 3.8.2. Схема расположения расчетной линии скольжения.

Линии скольжения

Номер задачи	Коэффициент запаса устойчивости	Цвет линии скольжения
1	1.212	Yellow

Координата X	Глубина
M	M
Задача 1	
-3	0
-2.3	0.723
-2	1.035
-1	2.075
0	2.979
1	3.118
1.64	3.194
2	3.223
3	3.286
4	3.26
4.61	3.201
5	3.152

Координата X	Глубина
М	М
6	2.964
7	2.687
8	2.321
8.4	2.15
9	1.872
10	1.337
11	0.713
12	0

3.9. Заключение по результатам расчета

По результатам расчетов получены следующие значения коэффициентов запаса устойчивости грунтового откоса:

- расчет откоса насыпи методом круглоцилиндрических поверхностей без учета сейсмического воздействия: $K_{z1MIN} = 0,76$;

- **расчет откоса насыпи в существующем положении** методом Федоровского-Курилло без учета сейсмического воздействия:

$K_{z2} = 0,95$

- **расчет откоса насыпи в существующем положении** методом Федоровского-Курилло с учетом сейсмического воздействия:

$K_{z2C} = 0,797$

- **расчет откоса насыпи в проектируемом положении** методом Федоровского-Курилло без учета сейсмического воздействия:

$K_{z3} = 1,67$

- **расчет откоса насыпи в проектируемом положении** методом Федоровского-Курилло с учетом сейсмического воздействия:

$K_{z3} = 1,21$

Вывод: устойчивость грунтового откоса в существующем положении не обеспечена, устойчивость откоса при проектируемом заложении откоса (1:2) обеспечена.

4. Расчет армирования железобетонной подпорной стенки

4.1. Габаритные размеры подпорной стенки

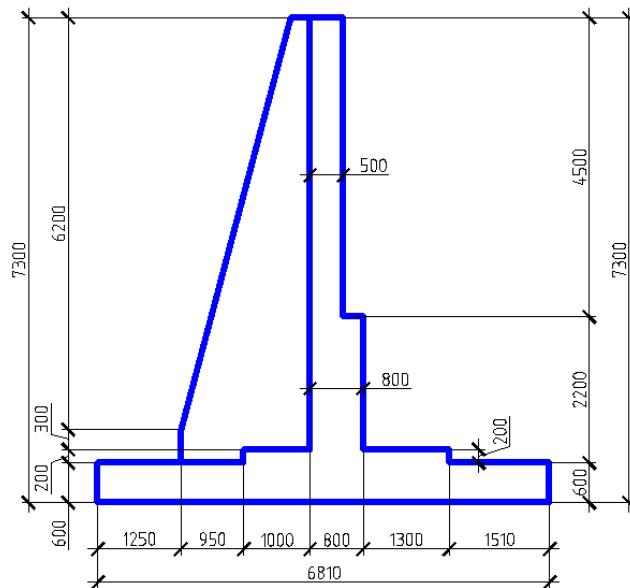


Рисунок 4.1.1. Железобетонная подпорная стенка. Поперечное сечение.

Вид сверху

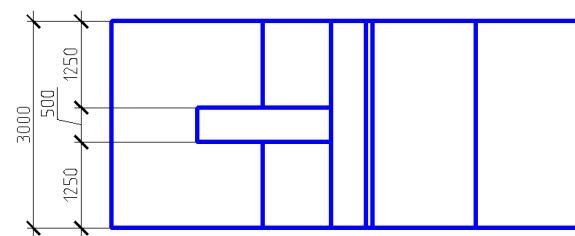


Рисунок 4.1.2. Железобетонная подпорная стенка. Вид сверху.

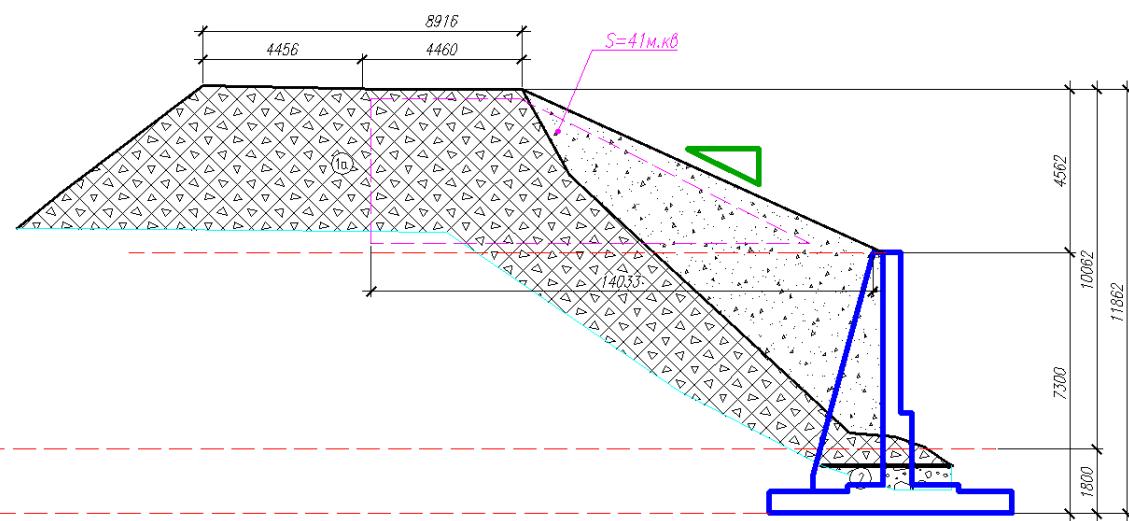
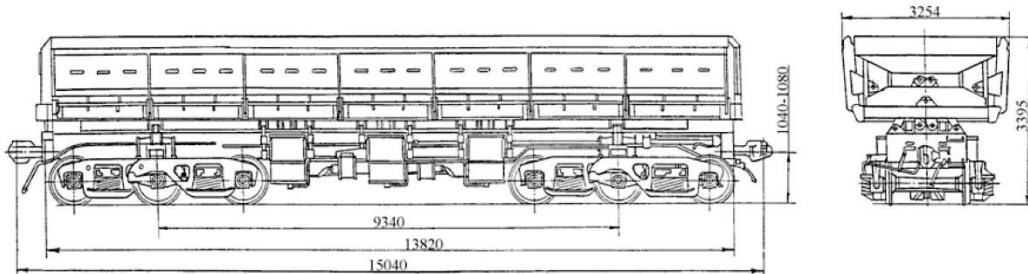


Рисунок 4.1.3. Железобетонная подпорная стенка. Схема установки подпорной стенки относительно насыпи

4.2. Сбор нагрузок действующих на железобетонную подпорную стенку

4.2.1. Вертикальная нагрузка от железнодорожного транспорта длиной 15м

Q1норм = 140тс (принята по думпкару 6-ти осному модель 33-682 см. рисунок 4.2.1.1)



Для перевозки и механизированной разгрузки сыпучих и кусковых грузов				
Номер проекта	682.00.000	Длина, мм:		
Технические условия	8322-976-00210861-95	по осям цепления автосцепок	15040	Размеры кузова внутри, мм:
Модель вагона	33-682	по концевым балкам рамы	13820	длина вверху
Тип вагона	-	Ширина максимальная, мм	3254	длина внизу
Изготовитель	Калининградский ВСЗ	Высота от УГР, мм:		ширина вверху
Грузоподъемность, т	82,0	максимальная	3395	ширина внизу
Масса тары вагона, т	57	до уровня пола	2040	высота
Нагрузка:		Количество осей, шт.	6	Угол наклона кузова при разгрузке, град.
статическая осевая, кН (тс)	230,0 (23,17)	Модель 3-осной тележки	18-522	45
погонная, кН/м (тс/м)	105,55 (10,77)	Наличие переходной площадки	нет	Количество разгрузочных цилиндров, шт.
Скорость конструкционная, км/ч:		Объем кузова, м ³	50	6
по путям МПС порожнего вагона	80	Удельный объем, м ³ /т	0,476	Рабочее давление в цилиндрах разгрузки, МПа (кгс/см ²)
по путям пром. предприятий	60			0,7 (7,0)
Габарит	1-Т			Год постановки на серийное производство
База вагона, мм	9340			1998
				Год снятия с серийного производства
				-
				возможно при доработке конструкции нижней рамы

Рисунок 4.2.1.1 – Параметры думпкара

$$Q1\text{расч} = 140\text{тс} * 1,3 = 182\text{тс};$$

где,

1,3 – коэффициент запаса по нагрузке;

4.2.2. Вертикальная нагрузка от железнодорожного пути длиной 15,0м (от рельс и шпал)

$$Q2\text{норм} = 6\text{тс};$$

$$Q2\text{расч} = 6\text{тс} * 1,3 = 7,8\text{тс};$$

где,

1,3 – коэффициент запаса по нагрузке;

4.2.3. Вертикальная снеговая нагрузка на площади длиной 15,0м и шириной 9,0м

Согласно СП 20.13330.2016 территория изыскания расположена в VII снеговом районе,

В соответствии с таблицей 10.1 нормативное значение веса снегового покрова на 1м² горизонтальной поверхности земли равна $Sg = 350\text{кг}/\text{м}^2$.

$$Q3\text{норм} = 0,350\text{тс}/\text{м}^2;$$

$$Q_{2\text{расч}} = 0,350 \text{тс}/\text{м}^2 * 1,4 = 0,490 \text{тс}/\text{м}^2;$$

где,

0,35тс/м² – нормативное значение снеговой нагрузки

1,4 – коэффициент запаса по нагрузке;

4.2.4. Суммарная вертикальная погонная нагрузка от железнодорожного вагона и от веса железной дороги

$$Q_{\text{пог}} = (182,0 \text{тс} + 7,8 \text{тс}) / 2 \approx 95,0 \text{тс}$$

4.2.5. Погонная нагрузка на высоте 3,61м от низа подпорной стенки

$$q_{\text{экв}} = (12,7 \text{тс} / 2) / 14,6 \text{м} = 0,43 \text{ тс}/\text{м}$$

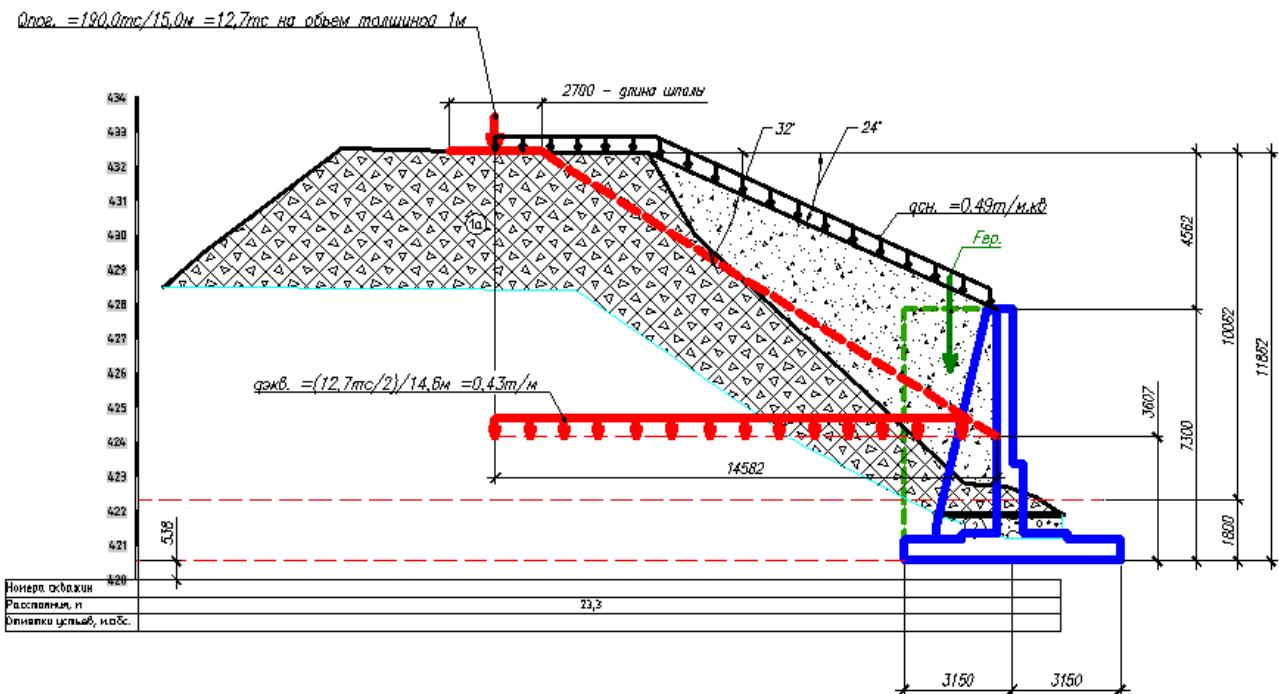


Рисунок 4.2.5.1. Железобетонная подпорная стенка. Схема расчета нагрузки от элементов, расположенных выше подпорной стенки.

4.3. Расчет бокового давления грунта на подпорную стенку от веса грунта насыпи при отсутствии нагрузки от железнодорожного состава и железной дороги

Исходные данные

Высота грунтового откоса: 7,3м;

Угол наклона поверхности грунта к горизонту: 25,0град;

Угол отклонения поверхности конструкции от вертикали: 0,0град;

Тип давления: давление покоя;

Распределенная вертикальная нагрузка на поверхности грунта: 0,35т/м²;
 Коэффициент надежности по нагрузке: 1,4;
 Объемный вес: 2,7т/м³;
 Коэффициент надежности по нагрузке для составляющей давления от веса грунта: 1,15;
 Угол внутреннего трения: 32,0град;
 Сцепление: 0т/м²;
 Коэффициент Пуассона: 0,3;
 Угол трения грунта по материалу конструкции: 0,0град;

Коэффициент бокового давления:

$$K_0 = \frac{v * (1 + \sin\beta)}{1 - v} = \frac{0,3 * (1 + 0,423)}{1,0 - 0,3} = 0,610;$$

Давление в характерных точках по глубине:

$$\sigma_{a1} = K_0 * q = 0,61 * 0,49 = 0,30 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = \gamma h K_0 + K_0 * q = 3,10 * 7,3 * 0,61 + 0,61 * 0,49 = 14,12 \text{ т/м}^2;$$

$$E_a = 0,5 * b * h * (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) = 0,5 * 1,0 * 7,30 * (0,30 + 14,12) = 52,62 \text{ т};$$

$$h_E = h / 3 * \left(\frac{2 * \sigma_{a1} + \sigma_{a2}}{\sigma_{a1} + \sigma_{a2}} \right) = (7,30 / 3) * \left(\frac{2 * 0,30 + 14,12}{0,30 + 14,12} \right) = 2,48 \text{ м};$$

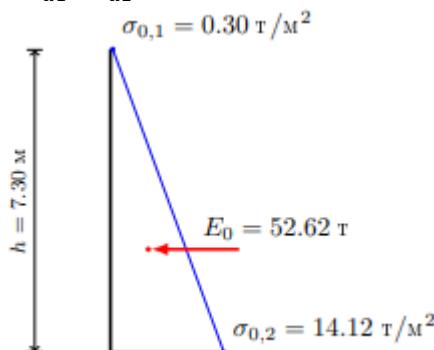


Рисунок 4.3.1. Эпюра бокового давления грунта.

4.4. Расчет составляющей бокового давления грунта на подпорную стенку от гэв

Расчет бокового давления грунта на участок стены высотой 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки при отсутствии нагрузки от железнодорожного состава.

Исходные данные

Высота грунтового откоса: 3,61м;

Угол наклона поверхности грунта к горизонту: 0,0град;

Угол отклонения поверхности конструкции от вертикали: 0,0град;

Тип давления: **давление покоя;**

Распределенная вертикальная нагрузка на поверхности грунта (**на высоте 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки**): 0,0т/м²;

Коэффициент надежности по нагрузке: 1,2;

Объемный вес: 2,7т/м³;

Коэффициент надежности по нагрузке для составляющей давления от веса грунта: 1,15;

Угол внутреннего трения: 32,0град;

Сцепление: 0т/м²;

Коэффициент Пуассона: 0,3;

Угол трения грунта по материалу конструкции: 0,0град;

Коэффициент бокового давления:

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,3}{1,0 - 0,3} = 0,429;$$

$$\sigma_{a1} = 0 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = \gamma h K_a = 3,10 * 3,61 * 0,429 = 4,80 \text{ т/м}^2;$$

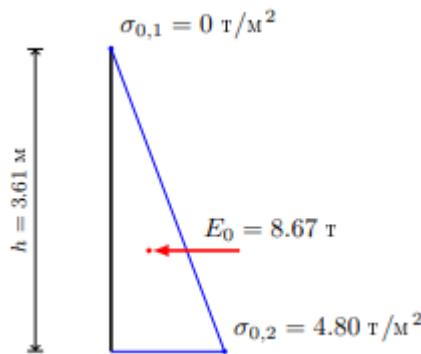


Рисунок 4.4.1. Эпюра бокового давления грунта на участок стены высотой 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки при отсутствии нагрузки от железнодорожного состава.

4.5. Расчет бокового давления грунта на участок стены высотой 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки при действии нагрузки от железнодорожного состава

Исходные данные

Высота грунтового откоса: 3,61м;

Угол наклона поверхности грунта к горизонту: 0,0град;

Угол отклонения поверхности конструкции от вертикали: 0,0град;

Тип давления: давление покоя;

Распределенная вертикальная нагрузка на поверхности грунта (на высоте 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки): 1,0т/м²;

Коэффициент надежности по нагрузке: 1,2;

Объемный вес: 2,7т/м³;

Коэффициент надежности по нагрузке для составляющей давления от веса грунта: 1,15;
 Угол внутреннего трения: 32,0град;
 Сцепление: 0т/м²;
 Коэффициент Пуассона: 0,3;
 Угол трения грунта по материалу конструкции: 0,0град;

Коэффициент бокового давления:

$$K_0 = \frac{v}{1-v} = \frac{0,3}{1,0-0,3} = 0,429;$$

$$\sigma_{a1} = K_a * q = 0,429 * 1,2 = 0,51 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = \gamma h K_a + K_a * q = 3,10 * 3,61 * 0,429 + 0,429 * 1,2 = 5,32 \text{ т/м}^2;$$

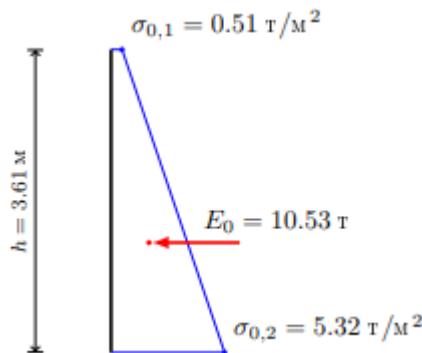


Рисунок 4.5.1. Эпюра бокового давления грунта на участок стены высотой 3,61м от низа проектируемой подпорной стенки при отсутствии нагрузки от железнодорожного состава.

Следовательно, из разности эпюр бокового давления, приведенных на рисунках 5.6 и 5.7, вычисляем составляющую бокового давления от з.кв:

$$\sigma_{a1} = 0,37 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = 5,32 \text{ т/м}^2 - 4,80 \text{ т/м}^2 \approx 0,52 \text{ т/м}^2;$$

Следовательно, результативная эпюра бокового давления грунта имеет следующие значения:

$$\sigma_{a1} = 0,30 \text{ т/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = 14,12 \text{ т/м}^2 + 0,52 \text{ т/м}^2 = 14,64 \text{ т/м}^2 \approx 15,00 \text{ т/м}^2;$$

Итоговая эпюра бокового давления грунта приведена на рисунке 5.8

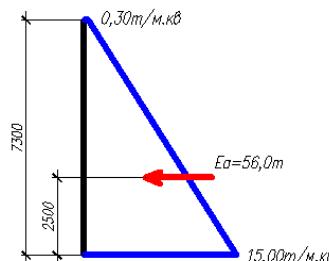


Рисунок 4.5.2 Итоговая эпюра бокового давления грунта.

Эпюра бокового давления имеет форму трапеции. Давление в верхней и нижней частях эпюры составляет соответственно $\sigma_1 = 0.30 \text{ т/м}^2$ и $\sigma_2 = 15.00 \text{ т/м}^2$. Суммарное горизонтальное усилие от бокового давления составляет $E_a = 56.0 \text{ т}$. Момент суммарного усилия относительно нижней точки эпюры составляет $M_E = 140.0 \text{ т * м}$.

4.6. Результаты расчета армирования подпорной стенки

4.6.1. Плита основания

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см²/1м
Шаг, Диаметр - мм

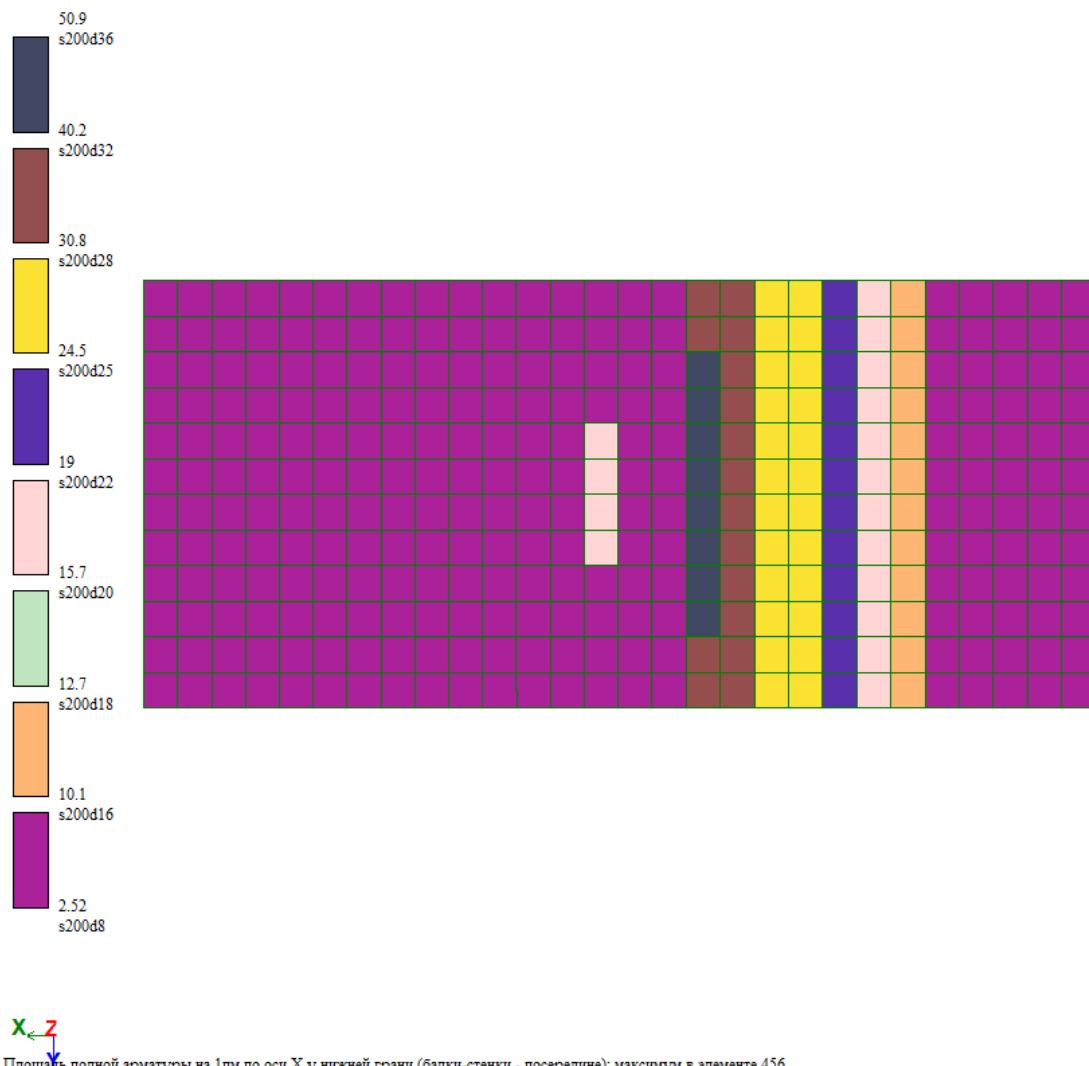
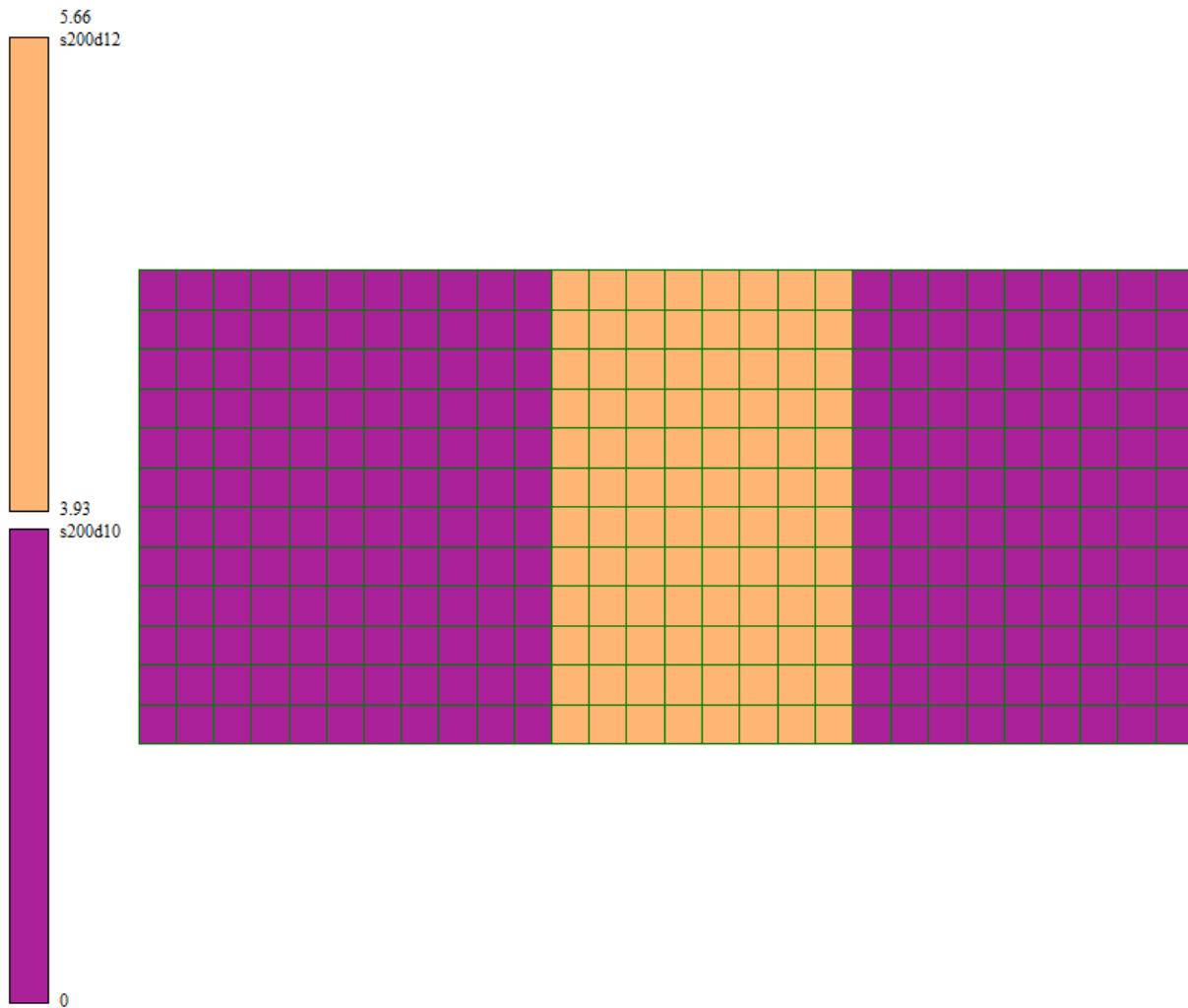


Рисунок 4.6.1.1. Армирование нижней грани по оси X.

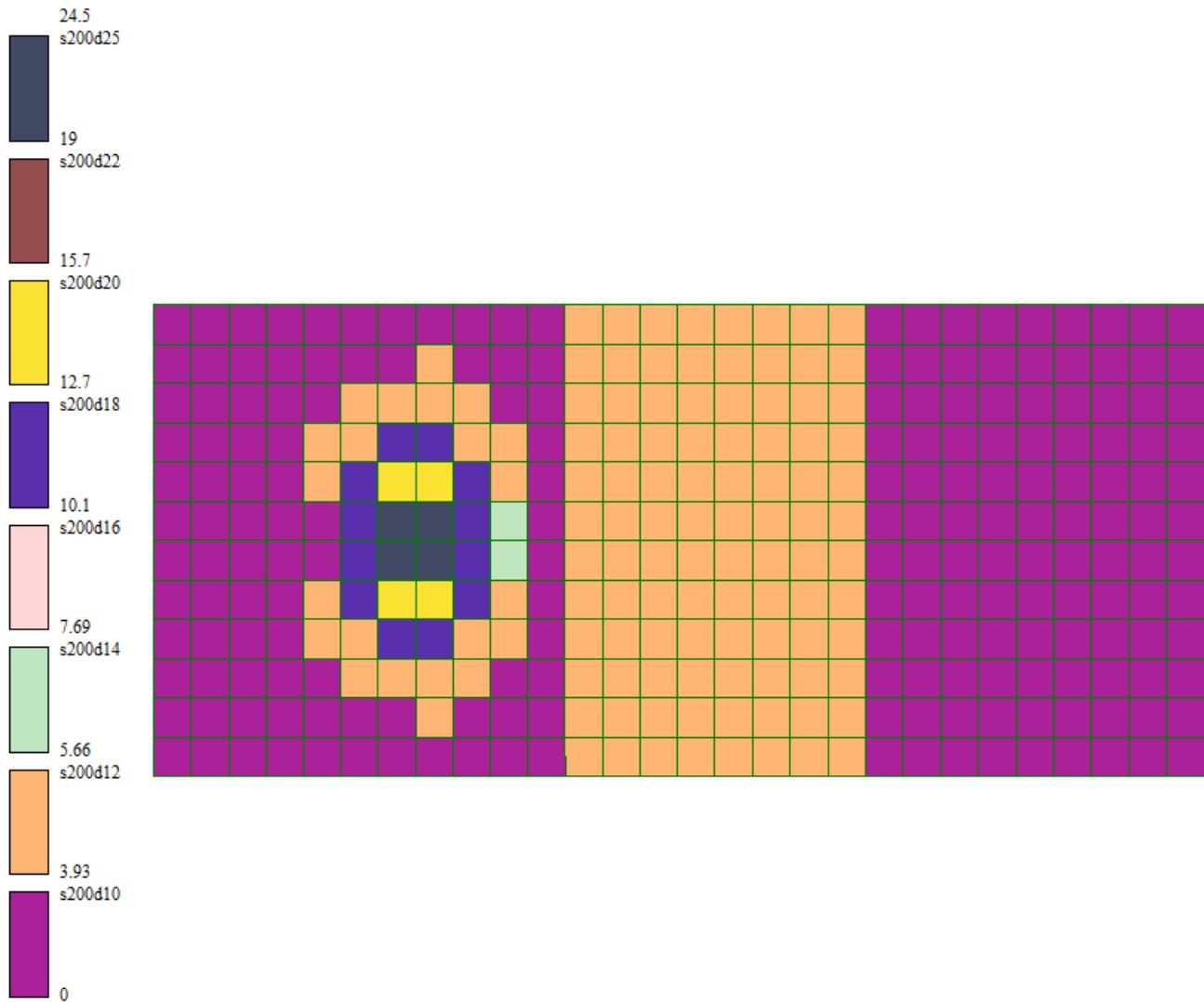
Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см/2/1м
Шаг, Диаметр - мм



X **Z**
Площадь полной арматуры на 1м по оси Y у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 1

Рисунок 4.6.1.2. Армирование нижней грани по оси Y.

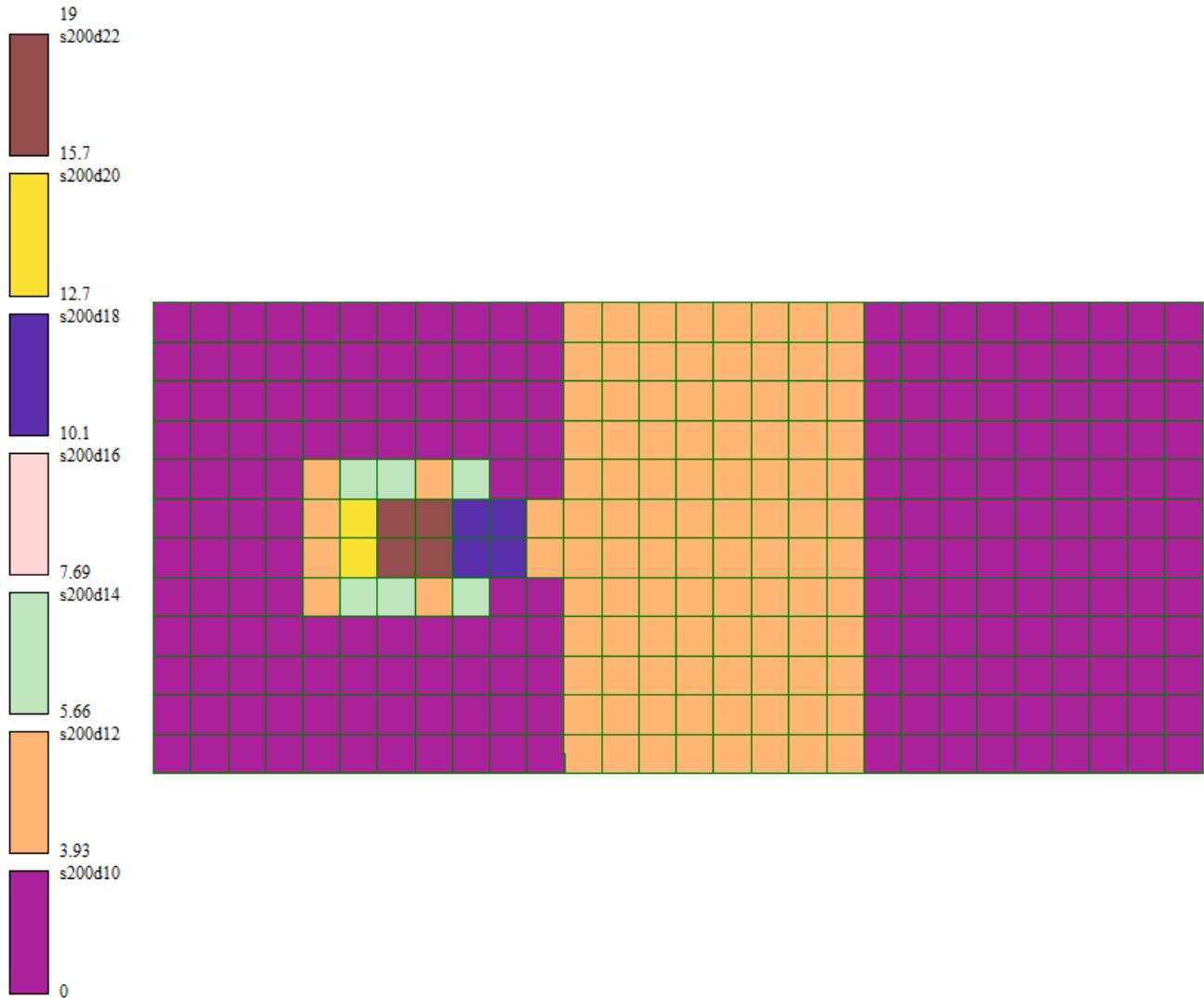
Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см²/1м
Шаг, Диаметр - мм



X **Z**
Площадь полной арматуры на 1м по оси X у верхней грани; максимум в элементе 137

Рисунок 4.6.1.3. Армирование верхней грани по оси X.

Вариант конструирования: Вариант 1
 Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
 Единицы измерения - см²/1м
 Шаг, Диаметр - мм

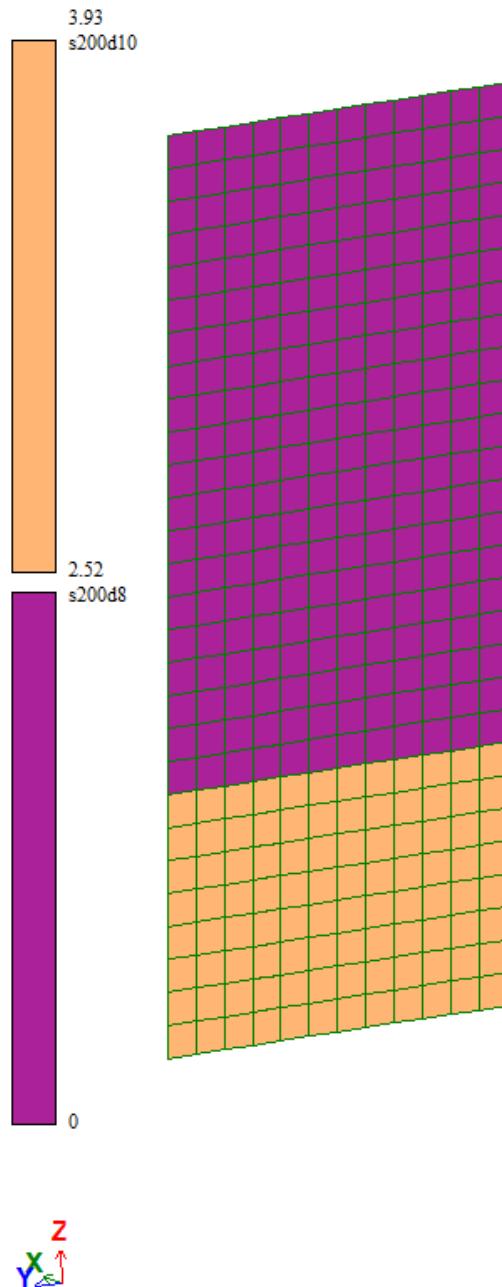


X **Z**
 Площадь полной арматуры на 1м по оси Y у верхней грани; максимум в элементе 131

Рисунок 4.6.1.4. Армирование верхней грани по оси Y.

4.6.2. Вертикальная стенка

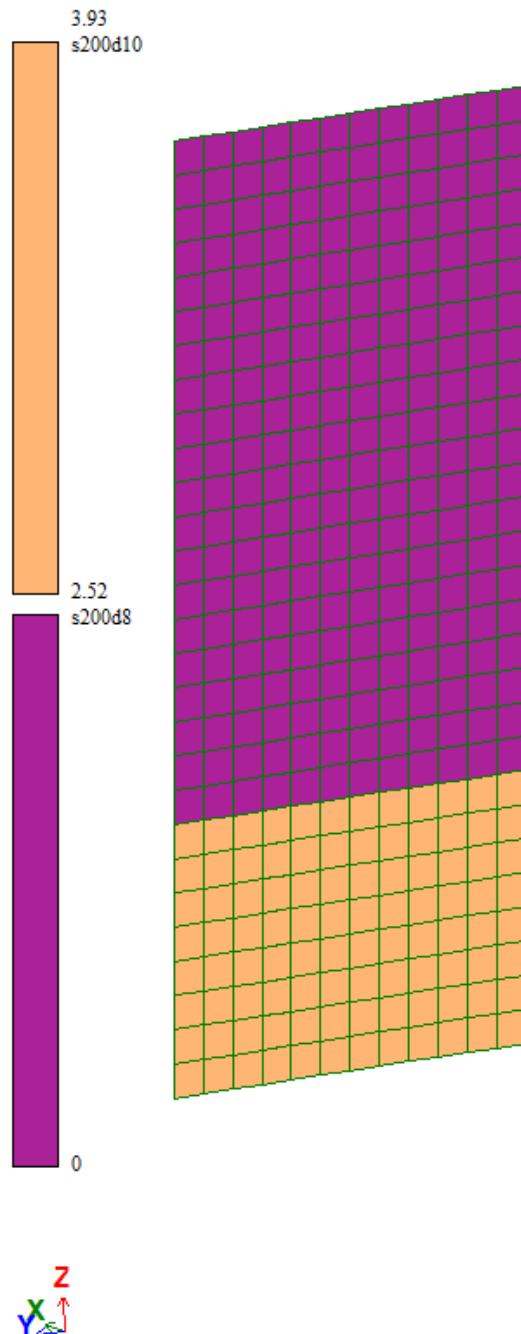
Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см²/1м
Шаг, Диаметр - мм



Площадь полной арматуры на 1м по оси X у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 3

Рисунок 4.6.2.1. Горизонтальное армирование грани расположенной со стороны реки.

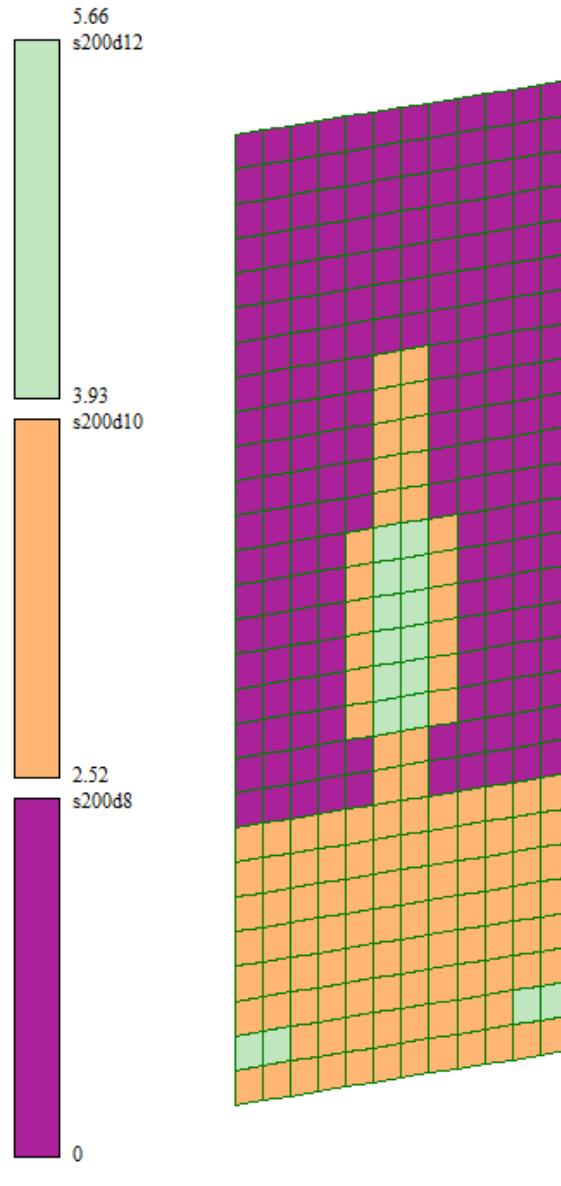
Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см²/1м
Шаг, Диаметр - мм



Площадь полной арматуры на 1м по оси Y у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 3

Рисунок 4.6.2.2. Вертикальное армирование грани расположенной со стороны реки.

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см/2/1м
Шаг, Диаметр - мм

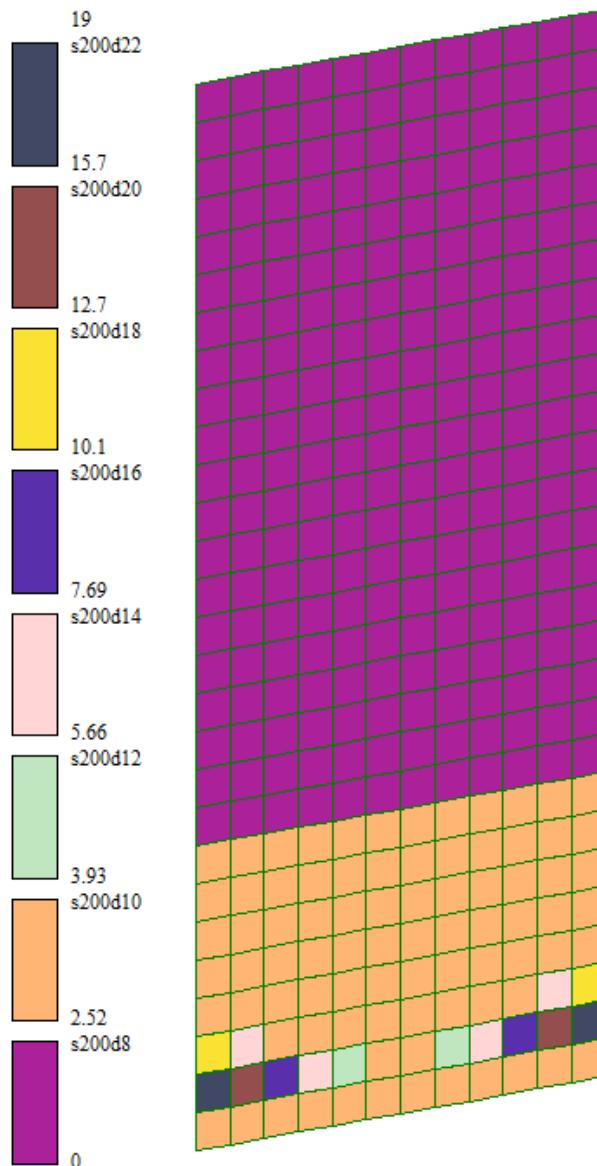


Z
X
Y

Площадь полной арматуры на 1м по оси X у верхней грани; максимум в элементе 232

Рисунок 4.6.2.3. Горизонтальное армирование грани расположенной со стороны насыпи.

Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
Единицы измерения - см/2/1м
Шаг, Диаметр - мм

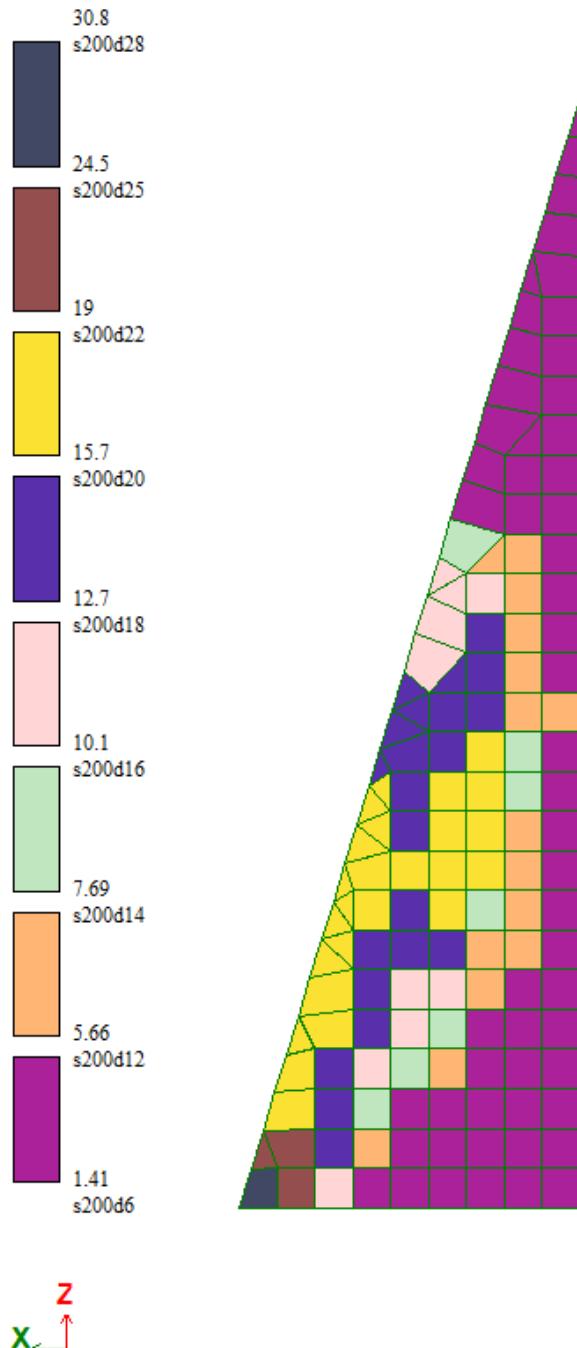


Площадь полной арматуры на 1м по оси Y у верхней грани; максимум в элементе 232

Рисунок 4.6.2.4. Вертикальное армирование грани расположенной со стороны насыпи.

4.6.3. Контрфорс

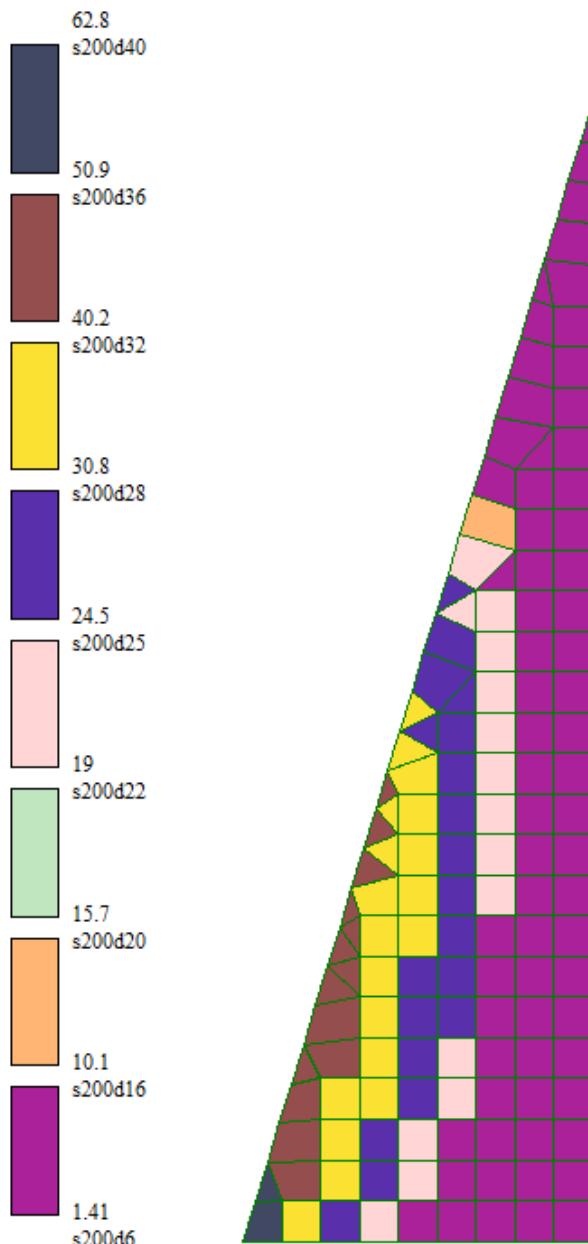
Вариант конструирования: Вариант 1
 Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
 Единицы измерения - см/2/1м
 Шаг, Диаметр - мм



Площадь полной арматуры на 1м по оси X у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 601

Рисунок 4.6.3.1. Горизонтальное армирование обеих граней контрфорса.

Вариант конструирования: Вариант 1
 Расчет по РСУ: СП_1 (СП 63.13330.2012/2018)
 Единицы измерения - см²/1м
 Шаг, Диаметр - мм



z
x

Площадь полной арматуры на 1м по оси Y у нижней грани (балки-стенки - посередине); максимум в элементе 601

Рисунок 4.6.3.2. Вертикальное армирование обеих граней контрфорса.

РСУ расчетные. Огибающая минимальных значений (Таблица СП_1)
Мозаика напряжений по Rz
Единицы измерения - т/м²

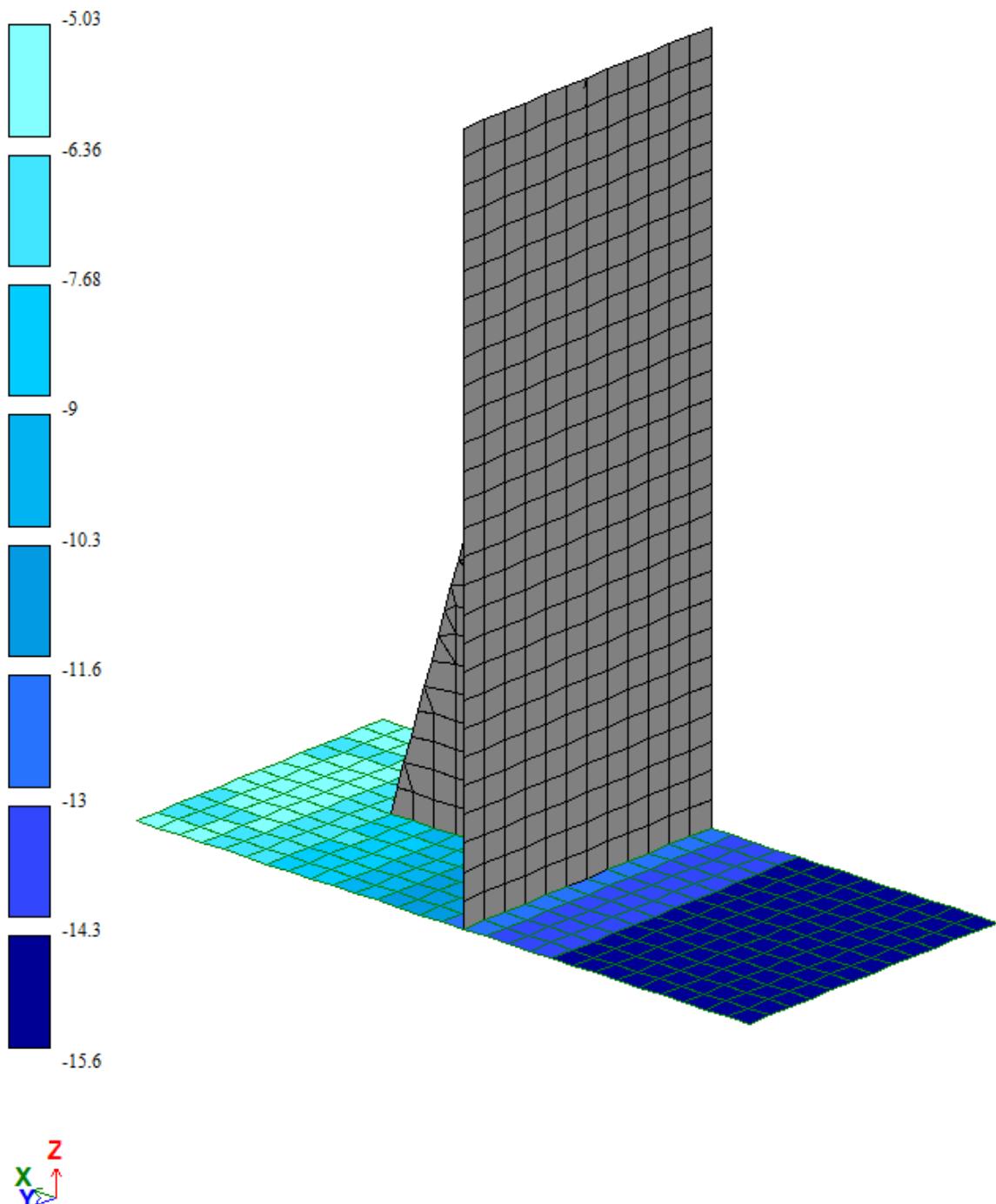


Рисунок 4.6.3.3. Давление на грунт под подошвой подпорной стенки.

4.7. Данные о несущей способности основания подпорной стенки

В соответствии с результатами инженерно-геологического изыскания (1730/19_ИГИ), под подошвой подпорной стенки (основание русла реки) залегает ИГЭ 2 - галечниковый аллювиальный грунт (отл. р. Кондома), ниже ИГЭ 2 залегает ИГЭ 4 – скальный грунт - сиенит слабовыветрелый прочный.

В соответствии с приложением В (1730/19_ИГИ) несущая способность грунта под подошвой подпорной стенки (ИГЭ2) равна $R = 600\text{кПа} = 60,0 \text{ т}/\text{м}^2$ (см. рисунок 5.7.1).

Следовательно, $R_{z\max} = 49,2 \text{ т}/\text{м}^2 < 60,0 \text{ т}/\text{м}^2$, условие прочности выполняется, несущая способность грунта под подошвой фундаментной плиты обеспечена.

**Приложение В
(обязательное)**
Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических свойств грунтов

Наименование показателей		Единицы измерения	ИГЭ 1а. Насыпной крупнообломочный грунт (планомерно возведенная насыпь)	ИГЭ 1б. Насыпной крупнообломочный грунт (отвал грунтов)	ИГЭ 2. Галечниковый аллювиальный грунт	ИГЭ 3. Щебенистый деловиально-элювиальный грунт	ИГЭ 4. Скальный грунт - сиенит слабовыветрелый прочный
			Нормативные значения показателей				
Влажность природная, W			0,05	0,07	-	0,07	-
Число пластичности, I_p		д.ед.	-	0,12	-	0,11	-
Показатель текучести, I_L	при W		-	-0,90	-	-0,26	-
Плотность, ρ	при W	г/см ³	2,03	2,03	2,20	2,09	2,87
Угол внутреннего трения, ϕ	при W	градус	45	32	-	32	-
Удельное сцепление, С	при W	кПа	5	12	-	13	-
Модуль деформации, Е	при W	МПа	-	56,2	-	58,1	-
Коэффициент выветрелости, K_{wt}		д.ед.	-	-	-	-	0,99
Коэффициент размягчаемости в воде, K_{sof}			-	-	-	-	0,84
Предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии, R_{csm}		МПа	-	-	-	-	101,50
Расчетное сопротивление, R_0	при W	кПа	250	180	600	450	-
Категория грунта по трудности разработки одноковшовым экскаватором (ГЭСН 81-02-01-2020)			2 (п.41б)	2 (п.41б)	2 (п.66)	2 (п.41б)	-

Примечания :

1. В качестве нормативных приведены средние и частные значения показателей свойств грунтов.
2. Для грунта ИГЭ 1а значения показателей ϕ и С приведены по результатам испытания грунта на сдвиг.
3. Для грунтов ИГЭ 1б и ИГЭ 3 значения ϕ , С и Е получены в результате расчета по методике ДальНИИС.
4. Значения расчетного сопротивления (R_0) приведены по таблицам Б.9 и Б.1.

Рисунок 4.7.1. 1730/19_ИГИ. Приложение В. Нормативные и расчетные значения показателей физико-механических свойств грунтов.

4.8. Расчет подпорной стенки на опрокидывание

Опрокидывающий момент вызванный действием расчетной нагрузки от бокового давления грунта:

$$\text{Мопр.в.} = 56,0\text{т} * 2,5 \text{ м} = 140,0 \text{ т} * \text{м},$$

где,

$F_{\text{опр}} = 56,0\text{т}$ – расчетная нагрузка, вызванная боковым давлением грунта (см. рисунок 5.5.1);

$h_{\text{опр}} = 2,5 \text{ м}$ – плечо силы (см. рисунок 5.8.1);

Удерживающий момент:

$$M_{\text{уд.}} = (23,0 \text{ т} * 2,97\text{м}) + 42,48\text{т} * 5,21\text{м} = 68,31 \text{ т} * \text{м} + 221,32 \text{ т} * \text{м} = 289,6\text{т} * \text{м},$$

где,

$F_{ст.} = 23,0 \text{ т}$ – нормативный вес подпорной стенки длиной 1м.п.;

$l_{ст} = 2,97 \text{ м}$ – плечо удерживающей силы от веса стенки (расстояние от вектора силы тяжести до точки вращения);

$F_{гр.} = 42,48 \text{ тс}$ - нормативный вес грунта, давящего на заднюю часть подпорной стенки;

$l_{гр.} = 5,21 \text{ м}$ – плечо удерживающей силы от веса грунта (расстояние от вектора силы тяжести до точки вращения);

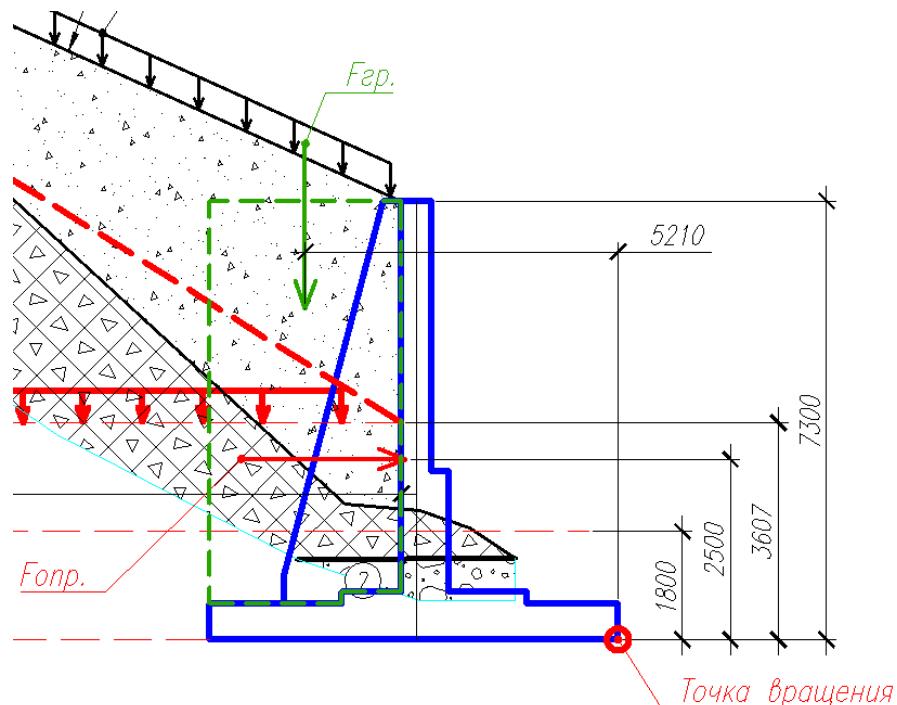


Рисунок 4.8.1. Схема к расчету подпорной стенки на опрокидывание.

Вывод: $M_{уд.} = 289,6 \text{ т} \cdot \text{м} > M_{опр.} = 140,0 \text{ т} \cdot \text{м}$, следовательно, устойчивость подпорной стенки опрокидыванию обеспечена.

4.9. Расчет подпорной стенки на сдвиг.

Сдвигающая нагрузка покоя, действующая на подпорную стенку:

$F_{сдв} = 56,0 \text{ тс}$ – расчетная сдвигающая нагрузка, вызванная боковым давлением грунта (см. рисунок 5.5.1);

Удерживающая нагрузка, от веса стенки и массива грунта расположенного перед подпорной стенкой:

$$F_{уд} = (23,3\text{т} + 21,24\text{м}^3 \cdot 2,0/\text{м}^3) \cdot \gamma_c / \gamma_n = 65,78\text{тс} \cdot \gamma_c / \gamma_n$$

где,

$\gamma_c = 1,0$ - коэффициент условий работы для скальных слабовыветрелых грунтов;
 $\gamma_n = 1,2$ – для сооружений I уровня ответственности;

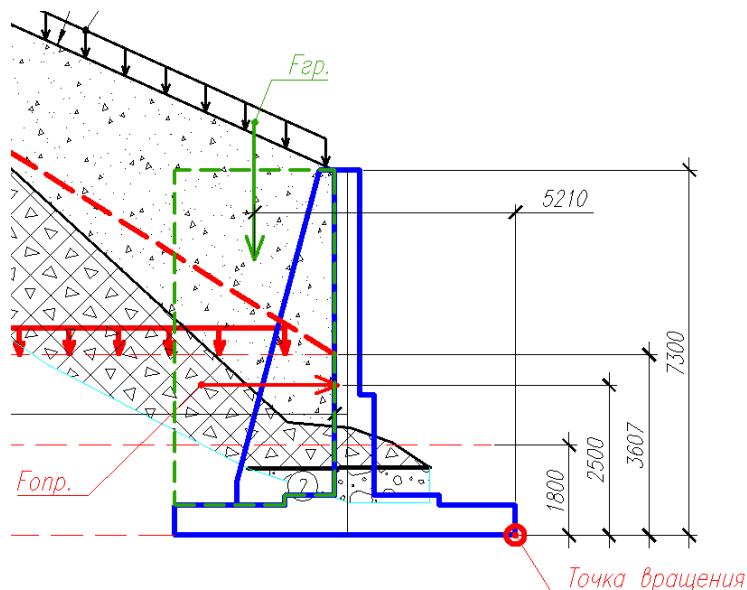


Рисунок 4.9.1. Схема к расчету подпорной стенки на сдвиг.

Пасивное давление, от грунта расположенного со стороны реки:

Исходные данные

Высота грунтового откоса: 1,5м;

Угол наклона поверхности грунта к горизонту: 0,0град;

Угол отклонения поверхности конструкции от вертикали: 0,0град;

Тип давления: **пассивное**;

Распределенная вертикальная нагрузка на поверхности грунта: 0,5т/м²;

Коэффициент надежности по нагрузке: 1,0;

Объемный вес: 1,9т/м³;

Коэффициент надежности по нагрузке для составляющей давления от веса грунта: 1,15;

Угол внутреннего трения: 32,0град;

Сцепление: 0т/м²;

Коэффициент Пуассона: 0,3;

Угол трения грунта по материалу конструкции: 0,0град;

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = 3.25$$

$$\sigma_{a1} = K_a * q = 3,25 * 0,5 = 1,63 \text{ тс/м}^2;$$

$$\sigma_{a2} = \gamma h K_a + K_a * q = 1,9 * 1,50 * 3,25 + 3,255 * 0,5 = 10,90 \text{ тс/м}^2;$$

$$E_a = 0,5 * b * h * (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) = 0,5 * 1,0 * 1,50 * (1,63 + 10,90) = 9,40 \text{ тс};$$

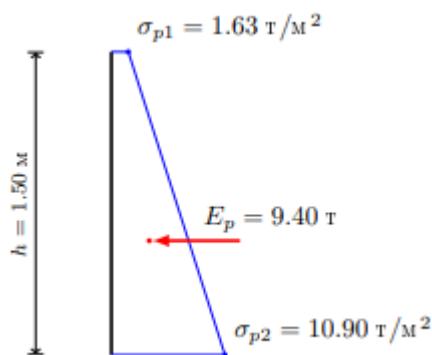


Рисунок 4.9.2. Эпюра активного давления грунта, расположенного со стороны реки.

Суммарная удерживающая нагрузка:

$$\sum F_{уд} = (65,78tc + 10,90tc) * \gamma_c / \gamma_n = 76.68 * 1 / 1.2 = 63.90tc;$$

где,

$\gamma_c = 1,0$ - коэффициент условий работы для скальных слабовыветрелых грунтов;

$\gamma_n = 1,2$ – для сооружений I уровня ответственности;

Следовательно: $\sum F_{уд} = 63.90tc > F_{сдв} = 56,0tc$, при действии давления покоя условие

устойчивости сдвига выполняется.

5. Учет влияния нагрузок и воздействий от реки

Настоящий расчет не учитывает воздействия от реки Кондома на подпорную стенку так как:

- уровень воды р. Кондома с обоих сторон стены будет одинаковым ввиду водопроницаемости грунта обратной засыпки откоса;
- движение потока воды и(или) льда в р. Кондома является условно параллельным подпорной стенке;
- волноприбой отсутствует.

В связи с указанными обстоятельствами, нагрузки и воздействия незначительные и в расчете не учитываются.