



Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-технический центр – Геотехнология»
СРО АПК «Межрегиональная ассоциация
проектировщиков» Рег. № СРО-П-027-18092009

Недропользователь (заказчик) – ООО «СПЕЦТЕХПРОЕКТ»

Проект ликвидации отработанной выработки карьера Тимофеевский

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 6. Технологические решения

Приложение 4. Оценка устойчивости бортов карьера Тимофеевского месторождения строительного камня (порфирита)

203/1-ТР

Том 6

Технический директор

А. В. Скопченко

Главный инженер проекта

Г. С. Крылов

Инов. № подл.	Взам. инв. №
7175	
Подп. и дата	

2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Введение	4
2	Краткая характеристика Тимофеевского месторождения	5
2.1	Общие сведения о месторождении и природные условия	5
2.2	Геологическое строение месторождения	8
2.3	Гидрогеологические условия	11
3	Выбор исходных данных для расчета устойчивости бортов карьеров	13
3.1	Нормативные значения коэффициента запаса устойчивости для расчета устойчивости бортов карьеров	13
3.2	Физико-механические свойства горных пород для расчета устойчивости бортов карьеров	13
3.3	Методический подход определения параметров оценки устойчивости	14
4	Поверочные расчеты устойчивости проектных откосов бортов карьеров	22
4.1	Геомеханический расчет по профильной линии 1-1	23
4.2	Геомеханический расчет по профильной линии 2-2	28
4.3	Геомеханический расчет по профильной линии 3-3	35
4.4	Геомеханический расчет по профильной линии 4-4	40
4.5	Геомеханический расчет по профильной линии 5-5	45
4.6	Геомеханический расчет по профильной линии 6-6	50
4.7	Геомеханический расчет по профильной линии 7-7	56
4.8	Геомеханический расчет по профильной линии 8-8	62
5	Заключение	68
6	Список использованной литературы	69
	Приложение 1. Сертификат соответствия программы GoeStab	70
	Приложение 2. СРО АПК «АПК «Межрегиональная ассоциация проектировщиков», рег. № СРО-П-027-18092009 от 24.01.2018 г.	71
	Приложение 3. Лицензия на производство маркшейдерских работ № ПМ-56-002446 (О) от 13.05.2008 г.	74

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

Таблица 3.1 – Физико-механические показатели полезного ископаемого Тимофеевского месторождения в соответствии требованиям ГОСТ 31436-2011	13
Таблица 3.2 – Физико-механические свойства пород Тимофеевского месторождения	14
Таблица 3.3 – Физико-механические свойства рыхлых пород Тимофеевского месторождения	14
Таблица 3.4 – Коэффициент динамической сейсмичности	17
Таблица 5.1 – Результаты поверочных расчетов устойчивости бортов и его элементов Тимофеевского месторождения	68

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

Рисунок 2.1 – Обзорная схема района Тимофеевского месторождения М 1:500 000	5
Рисунок 2.2 – Обзорная карта района Тимофеевского месторождения строительного камня	7
Рисунок 2.3 – Геологическая карта района Тимофеевского месторождения	11
Рисунок 3.1 – Схема к расчету устойчивости откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности	15
Рисунок 3.2 – Схема расчета устойчивости участка борта при неблагоприятном залегании поверхности ослабления ($\beta > \varphi'$)	18

Рисунок 3.3 – Схема расчета устойчивости участка борта при его заоткоске по наслоению одним уступом.....	19
Рисунок 3.4 – Схема расчета устойчивости борта при угле его наклона меньше угла залегания слоёв	20
Рисунок 3.5 – Схема многоугольника сил.....	20
Рисунок 4.1 – План Тимофеевского месторождения для выполнения поверочных расчетов устойчивости борта карьера и его участков (фиолетовым цветом показаны линии для расчетов).....	22

1 ВВЕДЕНИЕ

Заключение по работе «Оценка устойчивости бортов карьера при разработке Тимофеевского месторождения строительного камня (порфирита)» выполнено специалистами ООО «НТЦ-Геотехнология» имеющем лицензию на производство маркшейдерских работ № ПМ-56-002446 (О) от 13.05.2008 г. (Приложение 3) и являющимся участником СРО АПК «Межрегиональная ассоциация проектировщиков», рег. № СРО-П-027-18092009 от 24.01.2018 г. (Приложение 2), на основании следующих документов:

1. Задание на разработку проектной документации к договору на выполнение проектных работ №313/1 от 11.10.2021 г., заключенному между ООО «Спецтехпроект» и ООО «НТЦ-Геотехнология».
2. Протокол государственной комиссии по запасам полезных ископаемых от 24.05.1989 г. № 10661.
3. Лицензия на право пользования недрами ЧЕЛ 80317 ТЭ от 07.10.2014 г. с целевым назначением для добычи строительного камня на Тимофеевском месторождении порфиритов.
4. Отчет о ревизии и пересчете запасов строительного камня Тимофеевского месторождения в Челябинской области по состоянию на 01.10.1988 г., в 2-х книгах.
5. Технический проект «Разработка Тимофеевского месторождения строительного камня (порфирита)».

2 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТИМОФЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

2.1 Общие сведения о месторождении и природные условия

Тимофеевское месторождение строительного камня расположено в Челябинской области, в 5 км юго-западнее г. Коркино, в 0,7 км западнее пос. Тимофеевка (Рисунок 2.1).



— Тимофеевское месторождение строительного камня (порфирита)

**Рисунок 2.1 – Обзорная схема района Тимофеевского месторождения
М 1:500 000**

В геоморфологическом отношении район работ приурочен к Зауральскому пене-плению и имеет равнинный рельеф с абсолютными отметками 240-295 м. Поверхность месторождения имеет слабо выраженный уклон к северу и северо-востоку в сторону долины р. Каменки.

Максимальные абсолютные отметки (261-262 м) – в юго-западной части месторождения, минимальные (257-258 м) – в северной и северо-западной части.

Климат района проектируемой площадки под разработку Тимофеевского месторождения строительного камня (порфирита), в соответствии с ГОСТ 16350-80 по воздействию на технические изделия и материалы определен как «умеренно холодный», в соответствии с СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» относится к строительному району IV.

Среднегодовая температура воздуха +2,9°C. Средняя месячная температура воздуха самого холодного месяца (январь) –16,3°C, самого жаркого месяца (июль) +25,5°C. Климат района характеризуется резкими температурными колебаниями, абсолютный максимум равен +40°C, абсолютный минимум –48°C.

Продолжительность теплого периода - 207 дней, продолжительность холодного периода - 158 дня. Нормативная глубина промерзания суглинков и глин для площадки проектируемого строительства составляет - 170 см, супесей, песков пылеватых и мелких – 207 см. Устойчивый снежный покров устанавливается с начала ноября, средняя дата схода устойчивого снежного покрова - середина апреля.

Количество осадков за теплый период года (IV-IX) составляет – 346 мм, холодный период (X-III) – 103 мм.

Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы равен 160.

Преобладающее направление ветров южное, северное и западное. Среднегодовая скорость ветра 2,5 м/с. Средняя скорость ветра, превышение которой в году составляет 5%, - 6 м/с.

В 150 м от северной границы месторождения в широтном направлении протекает река Каменка (левый приток реки Чумляк), относящаяся к бассейну реки Миасс.

Границами Тимофеевского месторождения являются: на севере – долина р. Каменка, на западе – охранный зона железнодорожной магистрали Челябинск – Троицк, на востоке и юге – условные, обзорная карта месторождения представлена на рисунке 2.2. В 1,4 км восточнее месторождения проходит асфальтированное шоссе Челябинск – Троицк. Карьер соединен с г. Коркино и другими потребителями асфальтированным шоссе и автодорогами со щебеночным покрытием.

Снабжение электроэнергией осуществляется от Челябинской ГРЭС через понижающую подстанцию г. Коркино.

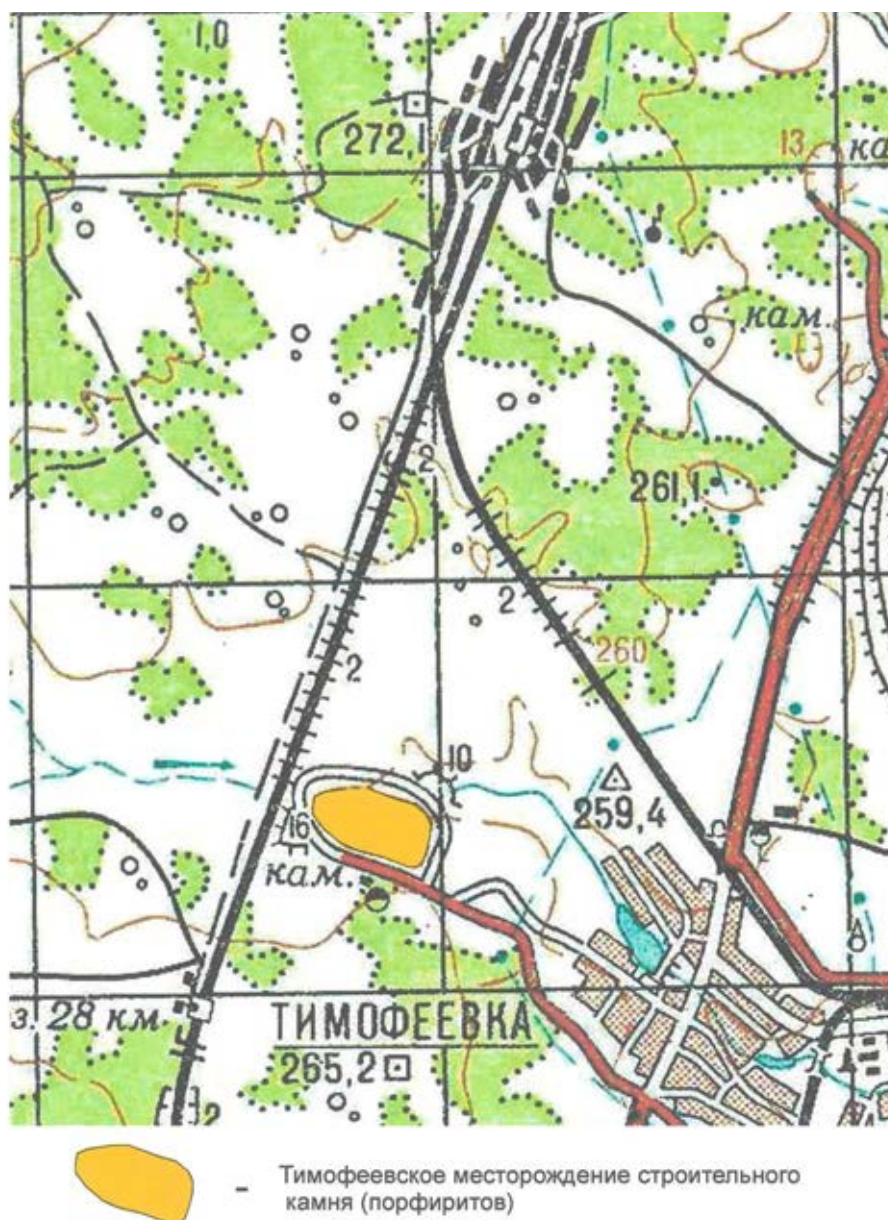


Рисунок 2.2 – Обзорная карта района Тимофеевского месторождения строительного камня

Месторождение Тимофеевское расположено в 5 км к СЗ от г. Коркино. Приурочено к разрезу существенно вулканогенной саргазинской толщи нижнего-среднего ордовика. В качестве строительного камня разведаны андезиты, базальты порфировые зелено-вато-серые и их туфы. В верхней части разреза порфириты в различной степени выветрелые; мощность выветрелой зоны колеблется от 1,2 до 12,0 м.

Породы пригодны в качестве сырья для производства бутового камня, строительного щебня, дорожного щебня для устройства оснований автомобильных дорог, приготовления асфальтобетонных смесей. Отходы дробления (фракция 0,0 - 5,0 мм) после удаления класса 0,14 мм можно использовать в качестве дробленого песка для строительных работ. Скальная вскрыша может быть использована при строительстве земельного полотна автомобильных и железных дорог.

Вскрышные породы представлены глинами и щебнистыми образованиями по выветрелым коренным породам. Мощность рыхлых вскрышных пород, представленных су-глинками, глинами и корами выветривания варьируется от 0,0 до 13,2 (в среднем - 4,9 м); мощность сильно выветрелых коренных пород (скальной вскрыши) изменяется от 0,5 до 7,3 м (в среднем 3,4 м). Вскрышные породы по состоянию горных работ на начало проектирования отработаны.

Месторождение обводнено. Глубина залегания зеркала грунтовых вод 3,5 - 8,5 м, в среднем 5,5 м. Ожидаемый максимальный водоприток в карьер на конец отработки составит 198 м³/час.

Размер месторождения - 720 x 480 м. Подсчетная мощность - до 69,6 м - 75,3 м (в среднем - 70,8 м). На месторождении пробурено 9 скважин глубиной 80,0 м по сети 150-300x200-450 м.

Остаток балансовых запасов на 01.01.2022 г. составляет по категориям А+В+С₁ в количестве 4 071,0 тыс. м³. По сложности геологического строения участок относится к 1 группе.

На предприятии ведётся добыча строительного камня, годовой производительностью 665 тыс. м³/год. Отработка ведется с применением буровзрывных работ 10-ти метровыми уступами с применением экскаваторов ЭКГ-5.

2.2 Геологическое строение месторождения

Тимофеевское месторождение строительного камня сложено вулканогенно-осадочными и осадочными породами силура и карбона, участками, перекрытыми мало-мощным покровом мезо-кайнозойских рыхлых отложений. Месторождение приурочено к южному периклинальному замыканию Челябинского антиклинория между Томинско-Тимофеевской тектонической зоной на западе и Челябинским грабеном на востоке.

Нижний структурный этаж представлен палеозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными породами и представлен следующими образованиями:

Саргазинская толща нижнего-среднего ордовика (О1-2sr) представлена базальтами, андезибазальтами, риолитами, их туфами и ксенотуфами. Повсеместно отмечаются прослои кремнистых туффов мощностью до 20 см. В низах разреза толщи чаще выделяют лавы пироксеновых и пироксен-плагиоклазовых порфировых базальтов (30-35% объема толщи). В средней части разреза развиты в основном афировые и порфировые плагиоклазовые базальты (35-40%). Афировые разности составляют 25% объема толщи. Риолиты и риодациты развиты в верхней части разреза и их объем не превышает 10-12%. Туфы и ксенотуфы (15-20%) отмечаются по всему разрезу в виде прослоев разной мощности. Мощность саргазинской толщи - 1 500 м. В западном обрамлении Челябинского массива развиты metabазальты, метаандезибазальты, метатуфы базальтов, метариолиты, амфибол-плагиоклазовые сланцы.

Биксизакская и первомайская толщи верхнего ордовика-среднего силура объединенные (Оз-S2bk+pm) выделены в Алапаевско-Адамовской СФЗ западнее пос. Томинский и вблизи северной окраины пос. Зауральский. В разрезе толщи представлены известняки, мраморы, углеродсодержащие микросланцы и алевролиты. Породы свиты с переслаиванием залегают на вулканитах саргазинской толщи и согласно перекрыты образованиями шеинской и клубничной толщ. Породы имеют невысокую естественную радиоактивность

(3,7 мкР/час). Мощность толщ составляет до 850 м. Возраст пород определён многочисленными находками разнообразной фауны.

Образования осадочной субформации коры выветривания развиты в изучаемом районе довольно ограниченно: в основном, в пределах карстовых палеовпадин, развитых среди полей распространения карбонатных пород складчатого фундамента. Размеры впадин обычно не превышают первых квадратных километров, а чаще, они - значительно меньше. Вместе с тем, на крайнем севере и крайнем юго-востоке территории 27 развиты крупные поля этих образований размером во многие десятки квадратных километров. Породы этой формации состоят почти исключительно из высокозрелого материала переотложения материала коры выветривания. Отложения претерпели достаточно интенсивное выветривание уже после формирования осадков. Глинистая фракция осадочных пород этой субформации имеет преимущественно каолинитовый состав, а более крупные фракции - кремнисто-кварцевый. Довольно широко представлены лимонитовые образования. В разрезе существенно глинистых толщ отмечается также примесь минералов-гидроокислов алюминия, иногда встречаются мелкие тела бокситов.

Расчленение этих образований крайне затруднено сходством состава слагающих их пород. В настоящее время принято весьма условное их деление на ряд стратиграфических единиц:

- нижнемеловую алапаевскую толщу (K1ap) грубообломочных образований, вмещающих мелкие залежи бурых железняков и проявления урановой минерализации, а также синарскую свиту (K1sn) преимущественно каолинитовых глин, среди которых известны небольшие залежи бокситов и огнеупорных глин. Мощность образований этих свит достигает более чем 100-150 м, хотя чаще составляет десятки метров, нередко снижаясь до первых метров;

- верхнемеловую мысовскую свиту (K2ms) кварцевых песков и каолинитовых глин, вмещающую огнеупорное сырьё и проявления урана. Мощность - до 60 м;

- Кустанайская свита (N22ks). Средний плиоцен. Пески мелкозернистые, гравийные пески, глинистые пески, супеси. Глины зеленовато-серые и красно-бурые с гидрогетитовым и железисто-марганцовистым бобовником, песчанистые глины с галькой.

- Наурзумская свита (N1nr). Нижний-средний миоцен. Пески разнозернистые кварцевые, слюдисто-кварцевые, прослои кварцевых галечников. Глины существенно каолиновые, каолин-гидрослоистые, пестроцветные, иногда песчанистые,

- Светлинская свита (N1sv) залегает на наурзумских отложениях или мезозойских корах выветривания и сложена глинами буро-красными с пятнами зелёных плотными, часто с железисто-марганцовистыми бобовинами. В составе свиты преобладает малозрелый материал. В составе глинистой фракции значительная роль принадлежит минералам группы монтмориллонита, в обломочной фракции значительным развитием пользуются относительно малоустойчивые к выветриванию образования: обломки разнообразных, в т.ч. алюмосиликатных, пород, палеогеографический коэффициент - невысок.

Интрузивные породы

Биргильдинско-томинский комплекс диоритовый ($\delta D3$ -C1bt) представлен диоритами, кварцевыми диоритами и кварцевыми диорит-порфиритами. Породы образуют несколько массивов и малых тел гипабиссального и субвулканического уровня становления

в Алапаевско-Адамовской СФЗ. Размеры тел различные: от даек мощностью 1-2 м до массивов площадью в несколько квадратных километров. Форма массивов в плане - обычно изометричная со сложной конфигурацией контактов. В разрезе они имеют форму сужающихся книзу штоков. Между всеми породами комплекса существуют постепенные переходы и в структуре, и в минеральном составе. Диориты и кварцевые диориты - мезократовые породы с переменными количествами кварца, плагиоклаза и роговой обманки, часто - хлоритизированной. Для них характерна порфировидная структура, иногда серийно-порфировая. Структура базиса - аллотриоморфнозернистая и зернисто-призматическая. В составе пород: кварц 7-15%, плагиоклаз (андезин) - до 55%; амфибол - до 20%. Порфировидные выделения представлены кварцем - 1-3%, хлоритизированной роговой обманкой - 10-20% и плагиоклазом - 15-25%, замещенной карбонатом и слюдистыми агрегатами. Акцессорные - сфен, турмалин, гранат, циркон, рутил, анатаз; рудные - ильменит, халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит. По химизму породы отвечают диоритам и кварцевым диоритам нормального ряда. При этом диориты относятся к натриевой серии, а кварцевые диориты - к калиево-натриевой. Массивы гипабиссального уровня становления сопровождаются ореолами метасоматитов пропилитовой формации и вмещают медно-порфировые руды. С образованиями комплекса парагенетически связаны проявления полиметаллов. Абсолютный возраст диоритоидов, определенный К-Аг методом, составляет 336 ± 10 - 359 ± 9 млн лет. Абсолютный возраст белых слюд в аподиоритовых метасоматитах 321 ± 4 - 330 млн. лет (К-Аг изохрона). Изохронным Rb-Sr методом для порфировых диоритов установлен возраст 341 ± 6 млн лет. Приведенные данные позволяют уверенно датировать биргильдинско-томинский комплекс как позднедевонско-раннекаменноугольный.

Геологическая карта района работ представлена на рисунке 2.3.

Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков и носит сезонный характер.

В естественных условиях дренирование подземных вод осуществляется р. Каменкой, с началом эксплуатации карьера уклон подземного потока переориентировался в сторону дренирующих горных выработок.

Месторождение размещено в правобережной части бассейна р. Каменка и непосредственно с севера примыкает к ее долине.

3 ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

3.1 Нормативные значения коэффициента запаса устойчивости для расчета устойчивости бортов карьеров

Согласно «ФНиП в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» № 439 от 13.11.2020г. в качестве нормативного значения для бортов карьеров и откосов уступов приняты следующие обоснованные значения коэффициентов запаса:

- уступы, представленные скальными породами, 1,5;
- уступы, представленные рыхлыми породами, 1,3;
- борт карьера и его участки (два и более уступов) 1,3.

Требования Правил являются обязательными для юридических лиц (индивидуальных предпринимателей), осуществляющих ведение горных работ и (или) разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом, а также проектирование, ввод в эксплуатацию, консервацию и ликвидацию карьеров.

3.2 Физико-механические свойства горных пород для расчета устойчивости бортов карьеров

По всем нормируемым показателям физико-механические свойства продуктивных пород месторождения удовлетворяют требованиям ГОСТ 31436-2011 «Породы горные е скальные для производства щебня для строительных работ» (Таблица 3.1) и обеспечивают выход товарного продукта, соответствующего требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ».

Таблица 3.1 – Физико-механические показатели полезного ископаемого Тимофеевского месторождения в соответствии требованиям ГОСТ 31436-2011

Наименование показателя	Единица измерения	Требования ГОСТ 31436-2011	Фактическое значение
Содержание растворимой двуокиси кремния	$\frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$	Не более 50	9-261
Содержание серы, сульфитов, сульфатов в пересчете на SO_3	%	Не более 0.5	0.45-2.33
Содержание слоистых силикатов	%	Не более 15	-
Средний предел прочности породы при сжатии в водонасыщенном состоянии для интервалов, соответствующих высоте уступа	кгс/см ²	Более 200 до 2500	999-1363
Потеря массы при дробимости породы в интервалах равных высоте уступа	%	До 20	9.9-13.2 в сухом, 11.4-14.1 в водонасыщенном состоянии
Истираемость в полочном барабане, потеря массы (марка)	%	До 60 (И-I, II, III, IV)	И-I
Содержание слабых разностей в породе интервала, соответствующего высоте уступа	%	Не более 20	0.3-3.1
Тоже, в щебне	%	5-10	0-16

Таблица 3.2 – Физико-механические свойства пород Тимофеевского месторождения

Показатели	Порфириты	Порфиры
Количество проб, участвующих в подсчете запасов на физ–тех. испытаниях:		
- по сокращенной программе	87	55
- по неполной программе	49	39
- по полной программе	27	10
- на дробимость	37	32
Объемная масса, г/см ³	2,47-2,89	2,61-2,92
-преимущественно	2,74-2,81	2,72-2,81
Водопоглощение, %	0,04-1,25	0,04-1,17
-преимущественно	0,08-0,23	0,11-0,28
Прочность при сжатии в сухом состоянии, кгс/см ²	737-1928	711-2090
-преимущественно	1210-1570	720-1600
Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, кгс/см ²	424-1744	463-2485
-преимущественно	910-1600	850-1490
Марка прочности при дробимости	600-1200	600-1400
-преимущественно	1000-1200	800-1200
Качество щебня:		
-содержание зерен лещадной формы, %	18,7-80,2	2,4-51,9
-преимущественно	26-45	7-36
-содержание слабых зерен	0,14-6,7	0,19-8,1
-преимущественно	0,2-1,0	0,3-5,0

Таблица 3.3 – Физико-механические свойства рыхлых пород Тимофеевского месторождения

Наименование	Объемный вес, г/см ³	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Глина делювиальная	1,95	0,071	14
Глина элювиально-делювиальная	1,87	0,025	11

3.3 Методический подход определения параметров оценки устойчивости

Расчет устойчивости откосов карьеров, проводится на основе «ФНиП в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» [Ошибка! Источник ссылки не найден.], «Методических указаний по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров» (ВНИМИ) [9], «Правил обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» [12], «Методических указаний по расчету устойчивости и несущей способности отвалов» [11]. Рекомендуемые методы определения параметров бортов, уступов и откосов отвалов основаны на теории предельного равновесия горных пород.

Расчёты устойчивости бортов карьеров проводятся путём оценки предельного равновесия массива горных пород в откосах по наиболее слабым поверхностям скольжения, оконтуривающим призму возможного обрушения.

Возможные схемы расчетов устойчивости бортов карьера и его элементов

Расчет параметров, обеспечивающих устойчивость бортов и уступов при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления.

Поверочные расчёты параметров бортов и уступов в условиях отсутствия неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления выполняются методом алгебраического сложения сил по V схеме ВНИМИ [9].

При этом поверхность скольжения принята, как плавная и криволинейная, близкая по форме к круглоцилиндрической (Рисунок 3.1). **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

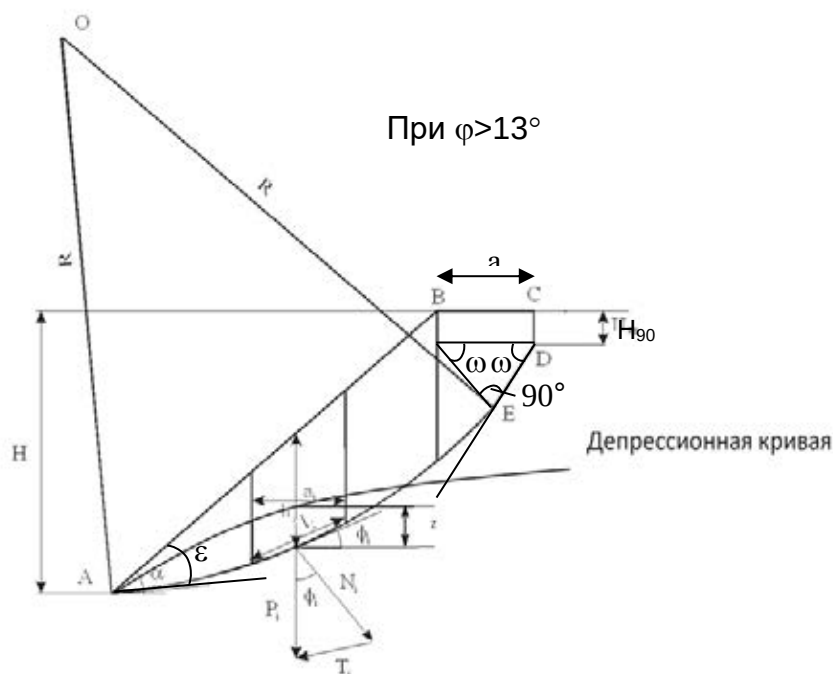


Рисунок 3.1 – Схема к расчету устойчивости откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности

Поверхность скольжения в однородном массиве, примыкающая к откосу, была построена с учетом ширины возможной призмы обрушения ($BC=a$) и высоты вертикальной трещины отрыва (H_{90}).

$$a = \frac{2H \left[1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + \varphi_n}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \varepsilon + \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + \varphi_n}{2} \right)}, \quad (3.1)$$

где: H – высота откоса, м;
 α – угол откоса, град.;
 φ_n – угол внутреннего трения с учетом коэффициента запаса устойчивости;
 ε – угол элементарных площадок скольжения к направлению наибольшего напряжения, град.

При получении отрицательного значения a при расчете аналитическим способом, ширины возможной призмы обрушения ($BC=a$) определялась по графику зависимости между высотой откоса и шириной призмы обрушения [9].

При расчетной ширине призмы возможного обрушения менее 1 м, рекомендуется принимать ширину призмы возможного обрушения равной 1 м ([9] п. 3.9.)

Площадки скольжения возникают на глубине H_{90} , вычисляемой по формуле:

$$H_{90} = \frac{2C_n}{\gamma_{cp}} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right), \quad (3.2)$$

где: C_n – сцепление с учетом коэффициента запаса устойчивости;

γ_{cp} – усредненный объемный вес.

Наклонены при этом под углом $\omega = (45^\circ + \varphi/2)$ к горизонту; на свободную поверхность откоса поверхность скольжения выходит под углом $\varepsilon = (45^\circ - \varphi/2)$.

Далее призма обрушения разбивается на блоки, для которых последовательно рассчитывается их площадь S (м^2) и (как векторная величина, через плотность γ) вес каждого блока P_i (тн), измеряется длина поверхности скольжения l_i (м) для каждого i - того блока и рассчитываются удерживающие силы, действующие по поверхности скольжения $\Sigma c_i l_i$ (тн); рассчитываются силы, действующие в блоках в зависимости от угла наклона поверхности скольжения и угла внутреннего трения породы в блоке.

Общее уравнение равновесия, определяющее разность удерживающих и сдвигающих сил по потенциальной поверхности скольжения по методу алгебраического сложения сил, имеет вид:

$$\Delta T = \sum [(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i - T_i], \quad (3.3)$$

где: l_i – длина наиболее напряженной поверхности скольжения в пределах расчетного блока, м;

φ_i, C_i - расчетные характеристики прочности пород;

D_i – сила гидростатического давления, направленная перпендикулярно основанию расчетного блока и численно равная произведению среднего значения гидростатического давления $\gamma_v H_{cp}$ на протяженность обводненной части блока l'_i :

$$D_i = \gamma_v H_{cp} l'_i, \quad (3.4)$$

$$\gamma_v H_{cp} = \gamma_v \frac{H_{i,i-1} + H_{i,i+1}}{2}, \quad (3.5)$$

N_i, T_i – соответственно нормальная и касательная составляющие веса расчетного блока, м и определяется по следующим формулам:

$$N_i = P_i \cos \beta_i, \quad (3.6)$$

$$T_i = P_i \sin \beta_i, \quad (3.7)$$

P_i – вес элементарных блоков, на которые разделяются призма в примыкающем к откосу массиве, ограниченная наиболее напряженной поверхностью, т;

β_i – угол наклона поверхности скольжения под i -тым расчётным блоком, град.

F_{Ti} – силы сопротивления срезу (сдвигу) по основанию блока расчётного блока:

$$F_{Ti} = N_i \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i, \quad (3.8)$$

$$P_i = \gamma \cdot a_i \cdot h_i, \quad (3.9)$$

a_i - ширина расчетного блока, м;

h_i – высота расчетного блока, м.

Если по наиболее напряженной поверхности разность удерживающих и сдвигающих сил ΔT равна нулю, то массив находится в предельном состоянии.

Коэффициент запаса устойчивости откоса n по методу алгебраического сложения сил определялся для наиболее напряженной поверхности скольжения по формуле:

$$n = \frac{\sum [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i]}{\sum T_i} \quad (3.10)$$

Коэффициент запаса устойчивости откоса n с учетом гидростатического и гидродинамического давления определялся по формуле:

$$n = \frac{\sum [(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i]}{\sum T_i} \quad (3.11)$$

Сейсмические силы учитываются при землетрясениях силой 6 баллов и выше. Величина сейсмичности определяется по соответствующим схематическим картам СП 14.13330.2018.

Территория месторождения отнесена к области с 5-6 бальной сейсмичности, в расчет устойчивости приняты сейсмические силы при землетрясениях силой 6 баллов. Сейсмическая сила для каждого расчетного блока (отсека) принимается равной произведению веса отсека на коэффициент сейсмичности m определяемый согласно данным таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Коэффициент динамической сейсмичности

Сейсмическая балльность района	1-6	7	8	9	10	11	12
Величина коэффициента (m)	0	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	> 0,75

Для условий рассматриваемого района коэффициент динамической сейсмичности принимается $m=0$.

Коэффициент запаса устойчивости откоса n с учетом сейсмичности определялся по формуле:

$$n = \frac{\sum [(N_i - m P_i \sin \varphi_i) \cdot \operatorname{tg} \rho_i + C_i l_i]}{\sum T_i + \sum P_i m \cos \varphi_i} \quad (3.12)$$

Коэффициент запаса устойчивости откоса n с учетом сейсмических и сил гидростатического и гидродинамического давлений определялся по формуле:

$$n = \frac{\sum [(N_i - D_i - m P_i \sin \varphi_i) \cdot \operatorname{tg} \rho_i + C_i l_i]}{\sum T_i + \sum P_i m \cos \varphi_i} \quad (3.13)$$

Расчет параметров, обеспечивающих устойчивость бортов и уступов при неблагоприятном залегании поверхностей ослабления ($\beta > \varphi$) (III схема ВНИИ [9]).

Поверочные расчеты параметров высоты уступов или небольшого по высоте участка борта при падении поверхности ослабления согласно с откосом под углом более угла трения ($\beta > \varphi$) и угле откоса уступа большем угла падения поверхности ослабления ($\alpha > \beta$) представлена на рисунке 3.2

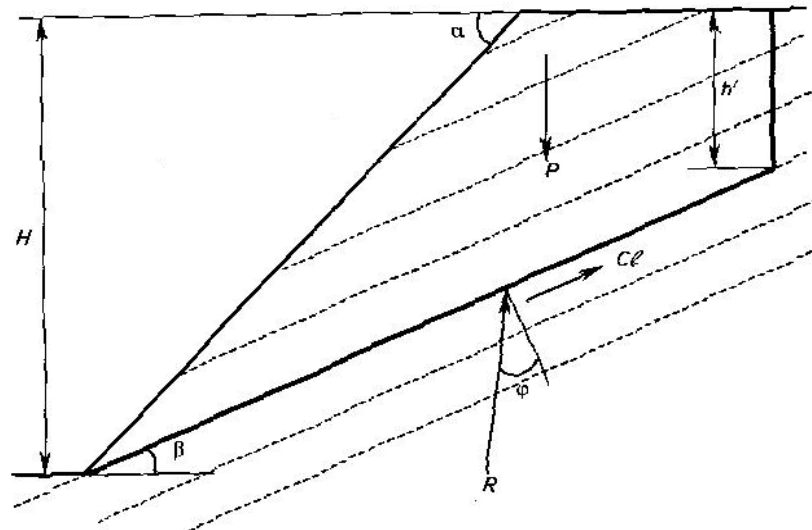


Рисунок 3.2 – Схема расчета устойчивости участка борта при неблагоприятном залегании поверхности ослабления ($\beta > \varphi'$)

Высота откоса вычисляется по формуле:

$$H = \frac{2C'_n}{\gamma} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi'_n}{\sin(\alpha - \beta) \cdot \sin(\beta - \varphi'_n)}, \quad (3.14)$$

где C'_n – сцепление пород по контактам, т/м²;

γ – объемный вес пород в массиве, т/м³;

φ'_n – угол сдвига по контакту слоев с учетом коэффициента запаса устойчивости, град.;

α – угол откоса, град.;

β – угол падения слоев пород, град.

При интенсивной трещиноватости пород, когда сопротивлением отрыву можно пренебречь, высота откоса определяется по формуле:

$$H = h'n \cdot \frac{1}{1 - \sqrt{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}}, \quad (3.15)$$

где $h'n$ – глубина, при которой возникают площадки скольжения на контакте (глубина трещины отрыва) с учетом коэффициента запаса устойчивости, м.

$$h'n = \frac{C'_n \cdot \cos \varphi'_n}{\gamma \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \varphi'_n)} \quad (3.16)$$

Расчет устойчивости при заоткоске уступов (участков бортов) по наслоению при $\beta > \varphi'$ (IV схема ВНИМИ [9]).

При заоткоске уступов или участков бортов по наслоению ($\alpha = \beta$), когда угол внутреннего трения по слабому контакту меньше угла падения слоев ($\beta > \varphi'$) поверхность скольжения в верхней части откоса формируется вдоль слоистости или контакта пород; форма нижней части поверхности скольжения на участке среза пород близка к круглоцилиндрической (Рисунок 3.3).

Ориентировка поверхности скольжения в пространстве определялась углами ε и θ' , значения которых вычислялись по формулам:

$$\varepsilon = 45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}, \quad (3.17)$$

$$\theta' = 45 - \frac{\varphi_n - \varphi'_n}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{\sin \varphi'_n}{\sin \varphi_n} \right), \quad (3.18)$$

где φ'_n - угол внутреннего трения (градус) по контактам поверхностей ослабления с учетом коэффициента запаса устойчивости.

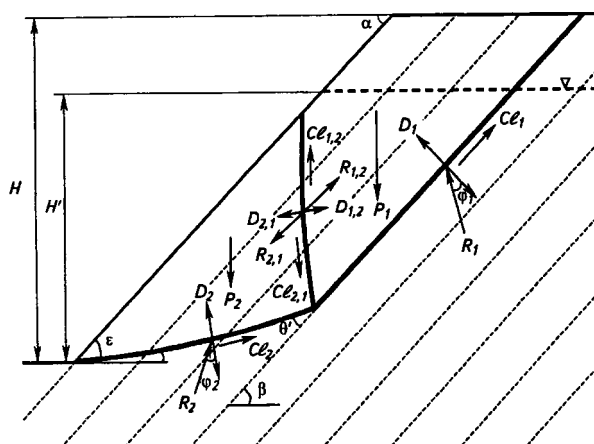


Рисунок 3.3 – Схема расчета устойчивости участка борта при его заоткоске по наслению одним уступом

Высота устойчивого откоса определяется по формуле:

$$H = H_{90} \left(\frac{1}{1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi'_n} \right), \quad (3.19)$$

где α – угол откоса уступа (наклона борта), град.;

ϕ'_n – угол сдвига по контакту слоев, град.:

$$\phi'_n = \operatorname{arctg} \left(\operatorname{tg} \phi'_n + \frac{C'_n}{\sigma_{cp}} \right), \quad (3.20)$$

σ_{cp} – средняя величина нормального напряжения (т/м²).

Средняя величина нормального напряжения рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{cp} = h \gamma \cos^2 \beta, \quad (3.21)$$

где h – глубина залегания (по вертикали от верхней бровки) наиболее напряженной поверхности, построенной без учета поверхности ослабления, м;

β – угол падения слоев и поверхностей ослабления массива, град.

Если известна высота откоса, то угол падения слоев, при котором допустима заоткоска по наслению, определяется по формуле:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{ctg} \phi'_n \left(1 - \frac{H_{90}}{H} \right), \quad (3.22)$$

Наклонное и крутое залегание поверхностей ослабления при $\alpha < \beta < 70^\circ$ (X схема ВНИИМ)

При наклонном и крутом залегании слоев пород с падением в сторону выработанного пространства ($\alpha < \beta < 70^\circ$) в предельном состоянии в массиве формируется поверхность скольжения, которая в верхней части массива совпадает с естественной поверхностью ослабления, а в нижней – имеет форму монотонной криволинейной поверхности, близкой по формуле к круглоцилиндрической (Рисунок 3.4).

В точке излома поверхности скольжения (точка А), где выполняется условие специального равновесия, основная поверхность скольжения претерпевает излом под углом θ' . Под углом $(90^\circ - \varphi_n)$ к ней формируется поверхность скольжения второго семейства АС.

Расчеты (определение суммарных сдвигающих и удерживающих сил, действующих на откос на участке призмы возможного обрушения) по приведенным выше схемам (горизонтальное или пологое залегание слоев – схема IX, наклонное и крутое падение слоев – схема X) выполнялся методом векторного сложения (многоугольника сил).

При расчете методом многоугольника сил учитывались реакции между блоками (Рисунок 3.5).

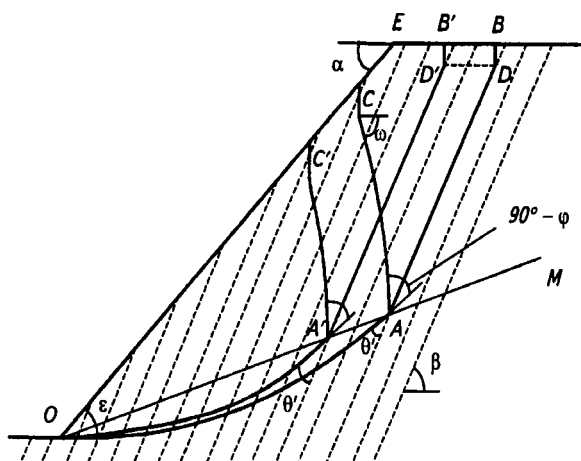
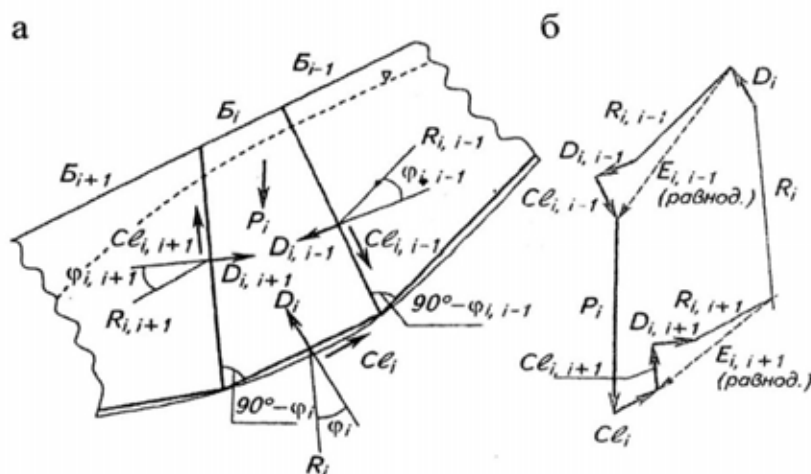


Рисунок 3.4 – Схема расчета устойчивости борта при угле его наклона меньше угла залегания слоёв



а) силы, действующие на расчетный блок горных пород B_i ; б) многоугольник сил

Рисунок 3.5 – Схема многоугольника сил

Сущность принятых расчётных схем заключается в следующем. В предельном состоянии обрушение откоса в массиве при крутом падении слоев со слабыми физико-механическими характеристиками по контактам между слоями (сцепление C'_n и угол внутреннего трения φ'_n) и условия $\varphi < \alpha < \beta$ (φ – угол внутреннего трения пород вкрест слоистости, α – угол наклона борта или откоса уступа, β – угол падения слоев) может произойти при определенной высоте H и соответствующей ей мощности m обрушающейся толщи пород по сложной поверхности скольжения ВДАО (Рисунок), которая образуется плоским участком ДА, совпадающим со слабым контактом, и криволинейной поверхностью АО, пересекающей откос под углом ε . На границе плоского и криволинейного участков поверхность скольжения испытывает излом под углом θ' , вычисляемым по формуле (3.23).

Обрушение толщи по поверхности ВДАО сопровождается развитием в верхней ее части трещины отрыва $BD = H_{90}$ и криволинейной поверхности АС, пересекающей поверхность АО под углом $(90^\circ - \varphi)$ и наклонной под углом ω к горизонту на глубине H_{90} от поверхности откоса. Таким образом, призма обрушения в предельном равновесии разбивается на призму активного давления ВДАСЕ и призму упора АОС, взаимодействующие между собой по поверхности АС.

При аппроксимировании участка поверхности скольжения АО различной кривизны в круглоцилиндрическую поверхность, а затем для упрощения аналитических выражений в плоскую, угол пересечения плоскости АО с плоскостью откоса определялся по формуле:

$$\theta' = 45^\circ + \frac{(\varphi - \varphi')}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} \right), \quad (3.23)$$

Сложная поверхность АС была заменена плоской, образующей угол $(90^\circ - \varphi)$ с АО.

Порядок построения многоугольника сил и расчет устойчивости откосов при применении метода детально изложены в [9, 11].

4 ПОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТНЫХ ОТКОСОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Поверочные расчеты бортов карьеров и его элементов ликвидированной карьерной выемки Тимофеевского месторождения

Расчет устойчивости бортов карьеров и их участков с использованием вышеуказанных схем деформирования откосов и уровней подземных вод выполнялся методом алгебраического сложения сил.

Выполнение поверочных расчетов устойчивости бортов карьеров производились по ликвидированной карьерной выемке с заполнением нижних горизонтов закладочным материалом, и затоплением до уровня грунтовых вод (+251) по наиболее характерным профилям.

План месторождения с нанесенными расчетными профильными линиями показаны на рисунке 4.1.

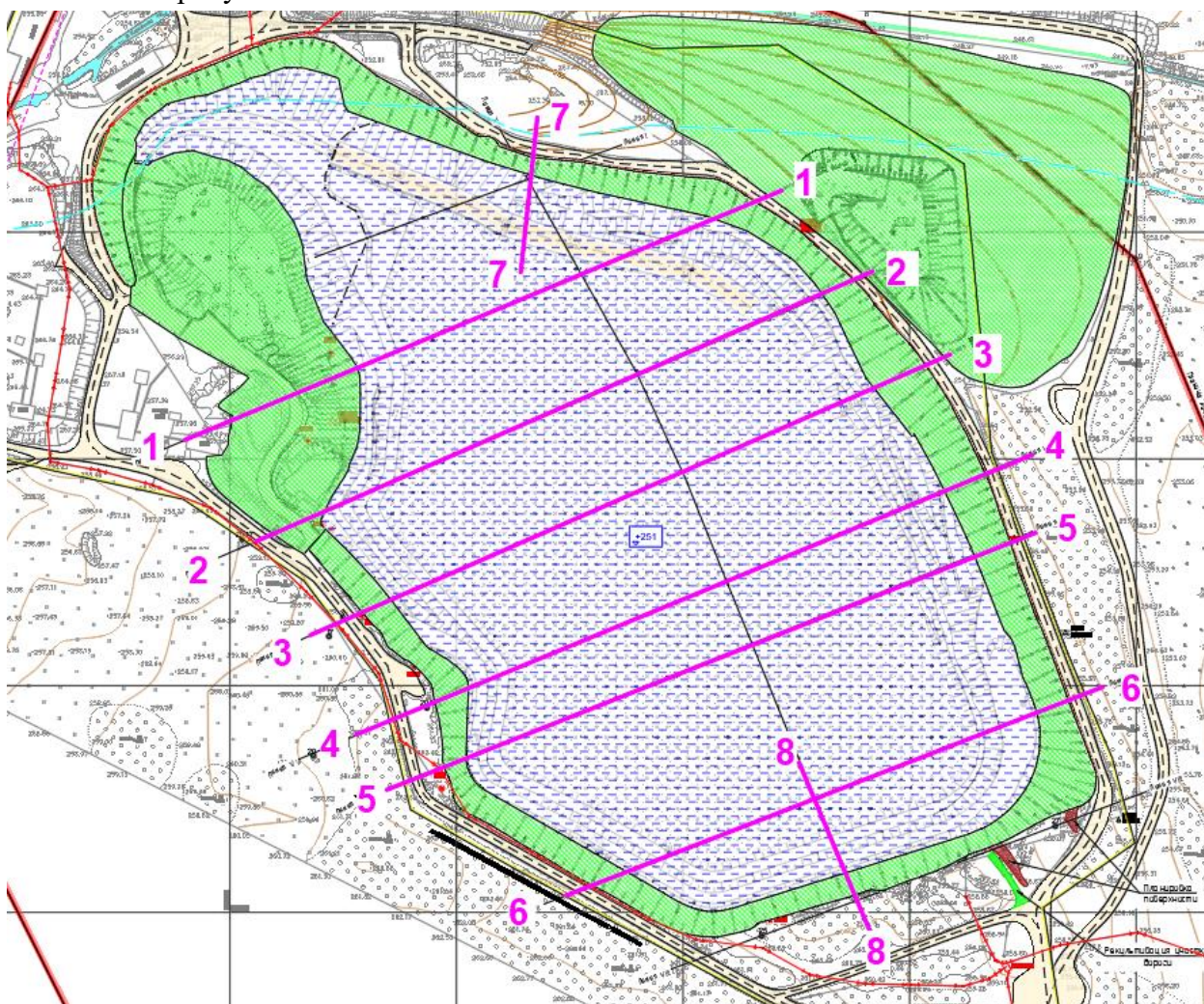


Рисунок 4.1 – План Тимофеевского месторождения для выполнения поверочных расчетов устойчивости борта карьера и его участков (фиолетовым цветом показаны линии для расчетов)

Все расчеты выполнены в программе GeoStab 6.2, имеющей сертификат соответствия (Приложение 1).

Расчет устойчивости бортов карьеров и их участков с использованием вышеуказанных схем деформирования откосов и уровней подземных вод выполнялся методом алгебраического сложения сил.

4.1 Геомеханический расчет по профильной линии 1-1

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 161,74 \text{ м}, \quad Y_c = 143,09 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 102,41 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

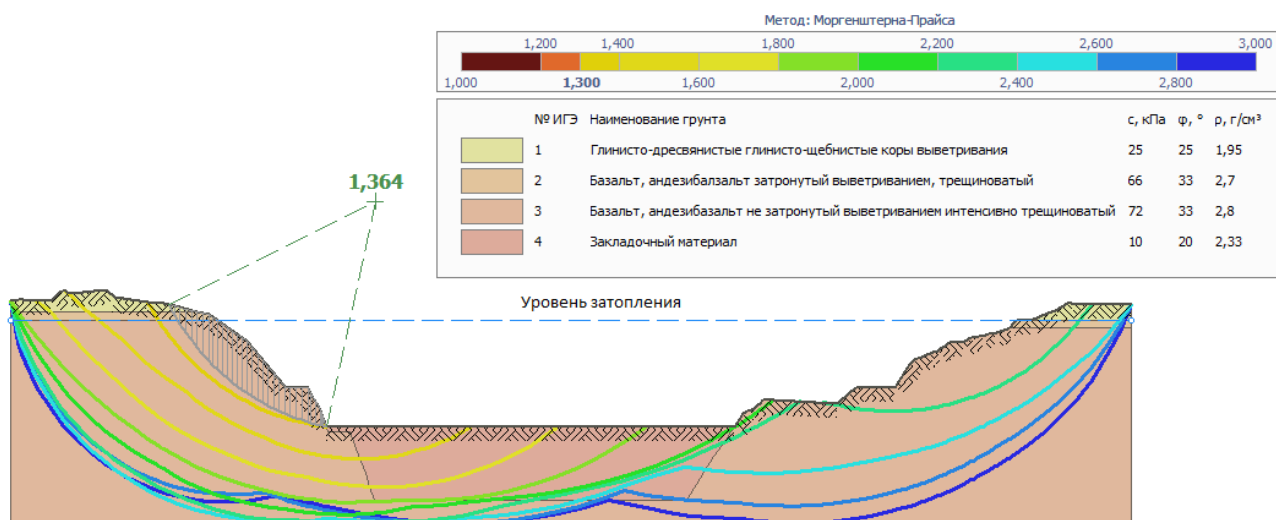
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,364

Площадь призмы: 1088,78 м²

Число элементарных призм: 34

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ _i , г/см³	c _i , кПа	φ _i , град	tgφ _i	l _i , м	A _i , м²	α _i , град
0	2,0	38,2	27,7	0,525	5,00	4,55	-61,9
1	2,4	64,8	31,4	0,611	4,86	14,07	-59,2
2	2,6	64,8	29,7	0,570	4,52	22,42	-56,5
3	2,7	64,8	29,7	0,570	4,25	29,87	-54,1
4	2,8	64,8	29,7	0,570	4,03	36,56	-51,8
5	2,8	64,8	29,7	0,570	4,03	44,92	-49,5
6	2,8	64,8	29,7	0,570	3,86	50,95	-47,3
7	2,8	64,8	29,7	0,570	2,65	38,68	-45,5

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
8	2,8	64,8	29,7	0,570	2,58	39,69	-44,0
9	2,8	64,8	29,7	0,570	0,33	5,14	-43,2
10	2,8	64,8	29,7	0,570	2,92	47,30	-42,3
11	2,8	64,8	29,7	0,570	2,85	48,16	-40,7
12	2,8	64,8	29,7	0,570	2,78	48,80	-39,1
13	2,8	64,8	29,7	0,570	2,72	49,23	-37,6
14	2,8	64,8	29,7	0,570	2,67	49,47	-36,1
15	2,8	64,8	29,7	0,570	2,62	49,51	-34,6
16	2,8	64,8	29,7	0,570	2,86	53,38	-33,0
17	2,8	64,8	29,7	0,570	2,81	50,17	-31,5
18	2,8	64,8	29,7	0,570	2,76	46,75	-29,9
19	2,8	64,8	29,7	0,570	2,72	43,12	-28,4
20	2,8	64,8	29,7	0,570	2,69	39,29	-26,8
21	2,8	64,8	29,7	0,570	2,65	35,28	-25,4
22	2,8	64,8	29,7	0,570	2,62	31,08	-23,9
23	2,8	64,8	29,7	0,570	0,41	4,50	-23,0
24	2,8	64,8	29,7	0,570	2,41	27,24	-22,2
25	2,8	64,8	29,7	0,570	2,78	34,18	-20,8
26	2,8	64,8	29,7	0,570	2,75	36,64	-19,2
27	2,8	64,8	29,7	0,570	2,73	38,90	-17,7
28	2,8	64,8	29,7	0,570	1,46	19,81	-16,5
29	2,8	64,8	29,7	0,570	2,08	22,92	-15,6
30	2,8	64,8	29,7	0,570	2,07	16,82	-14,4
31	2,8	64,8	29,7	0,570	0,59	3,51	-13,6
32	2,8	64,8	29,7	0,570	0,61	2,80	-13,3
33	2,8	64,8	29,7	0,570	1,60	3,06	-12,7
Итого:					91,26	1088,78	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	91,0	80,3	42,8	50,6	22,5	190,8	213,3
1	333,9	276,5	165,2	-151,9	101,0	315,3	416,3

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
2	574,3	399,6	264,2	-324,4	150,7	292,9	443,6
3	791,5	492,4	356,8	-440,8	203,5	275,3	478,8
4	987,9	568,4	448,0	-533,2	255,5	261,0	516,5
5	1224,4	659,0	562,8	-638,8	321,0	261,5	582,5
6	1391,7	704,0	649,8	-704,8	370,6	250,3	621,0
7	1058,8	505,0	496,8	-520,2	283,4	171,6	454,9
8	1088,8	490,4	507,6	-517,9	289,6	167,3	456,8
9	141,1	62,1	66,1	-66,7	37,7	21,1	58,8
10	1299,2	562,0	617,9	-617,5	352,4	189,1	541,5
11	1323,0	554,3	645,0	-636,6	367,9	184,4	552,4
12	1340,6	543,5	668,8	-655,8	381,5	180,3	561,7
13	1352,4	530,0	689,2	-674,9	393,1	176,5	569,6
14	1358,7	514,1	706,2	-693,8	402,8	173,0	575,8
15	1360,0	496,1	719,9	-712,4	410,6	169,9	580,5
16	1466,2	513,9	790,2	-790,8	450,7	185,2	635,9
17	1378,2	462,3	755,8	-768,7	431,1	182,0	613,1
18	1284,1	411,4	715,7	-742,3	408,2	179,1	587,3
19	1184,4	361,7	670,0	-710,3	382,2	176,4	558,6
20	1079,3	313,3	619,0	-671,6	353,1	174,0	527,1
21	969,0	266,7	562,9	-625,0	321,1	171,8	492,9
22	853,6	222,1	501,8	-569,8	286,2	169,8	456,0
23	123,5	31,1	73,1	-84,0	41,7	26,5	68,2
24	748,1	182,1	445,2	-509,8	253,9	156,0	409,9
25	938,8	214,2	564,2	-636,0	321,8	180,1	501,9
26	1006,4	213,2	610,8	-672,6	348,4	178,4	526,8
27	1068,4	208,9	654,3	-699,3	373,2	176,8	550,0
28	544,1	99,6	335,3	-350,4	191,3	94,5	285,7
29	629,5	108,5	389,9	-399,6	222,4	134,7	357,1
30	462,1	73,8	287,8	-283,8	164,1	134,0	298,1
31	96,4	14,6	60,2	-56,9	34,3	38,0	72,4
32	76,9	11,4	48,1	-43,9	27,5	39,8	67,3
33	84,1	11,9	52,7	-39,0	30,1	103,4	133,5
Итого:	29710,6	11158,4			8985,1	5780,7	14765,8

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека

$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \tan \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица моментов

i	$M_{акт\ i},$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.},$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.},$ кН*м /м	$M_{реакт\ i},$ кН*м /м
0	8217,4	19537,9	0,0	19537,9
1	28321,4	41786,8	0,0	41786,8
2	40909,5	48933,8	0,0	48933,8
3	50413,2	53931,3	0,0	53931,3
4	58199,0	57865,2	0,0	57865,2
5	67472,2	64079,5	0,0	64079,5
6	72081,1	66796,7	0,0	66796,7
7	51714,9	47950,4	0,0	47950,4
8	50245,9	47378,6	0,0	47378,6
9	6359,1	6057,7	0,0	6057,7
10	57544,0	55427,2	0,0	55427,2
11	56761,4	56069,8	0,0	56069,8
12	55655,5	56758,7	0,0	56758,7
13	54268,6	57487,1	0,0	57487,1
14	52638,9	58242,2	0,0	58242,2
15	50800,4	59004,5	0,0	59004,5
16	52622,0	65149,7	0,0	65149,7
17	47338,0	63531,7	0,0	63531,7
18	42130,1	61691,8	0,0	61691,8
19	37034,6	59552,9	0,0	59552,9
20	32085,2	57042,5	0,0	57042,5
21	27313,1	54096,7	0,0	54096,7
22	22747,5	50666,3	0,0	50666,3
23	3181,5	7626,3	0,0	7626,3
24	18643,1	45753,1	0,0	45753,1
25	21937,6	55588,6	0,0	55588,6
26	21835,8	57550,4	0,0	57550,4
27	21396,2	58943,6	0,0	58943,6
28	10197,3	30142,5	0,0	30142,5
29	11110,6	37131,6	0,0	37131,6
30	7561,4	30297,7	0,0	30297,7
31	1497,4	7217,8	0,0	7217,8
32	1166,4	6639,7	0,0	6639,7
33	1216,5	12864,9	0,0	12864,9
Итого:	1142616,9	1558795,2	0,0	1558795,2

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.

$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{\text{реакт } i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 1558795,2 / 1142616,9 = 1,364$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости. Метод Моргенштерна-Прайса.

Таблица сил

i	$F_{x \text{ акт } i},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}},$ кН/м	$F_{x \text{ реакт } i},$ кН/м
0	-44,6	89,9	0,0	89,9
1	130,4	209,3	0,0	209,3
2	270,6	263,6	0,0	263,6
3	356,9	309,1	0,0	309,1
4	418,8	349,8	0,0	349,8
5	485,8	406,4	0,0	406,4
6	517,9	442,5	0,0	442,5
7	370,8	328,4	0,0	328,4
8	359,8	332,8	0,0	332,8
9	45,7	43,1	0,0	43,1
10	415,5	400,4	0,0	400,4
11	414,9	415,3	0,0	415,3
12	413,6	430,2	0,0	430,2
13	411,4	445,0	0,0	445,0
14	408,3	459,8	0,0	459,8
15	404,2	474,5	0,0	474,5
16	431,1	533,4	0,0	533,4
17	401,1	529,3	0,0	529,3
18	369,9	522,3	0,0	522,3
19	337,4	511,8	0,0	511,8
20	303,3	497,0	0,0	497,0
21	267,6	477,4	0,0	477,4
22	230,7	452,4	0,0	452,4
23	32,9	68,5	0,0	68,5
24	193,0	413,6	0,0	413,6
25	225,8	507,5	0,0	507,5
26	221,7	530,6	0,0	530,6
27	212,7	548,3	0,0	548,3
28	99,7	282,2	0,0	282,2
29	107,1	349,3	0,0	349,3
30	70,5	286,6	0,0	286,6
31	13,4	68,5	0,0	68,5
32	10,1	63,1	0,0	63,1
33	8,6	122,6	0,0	122,6
Итого:	8916,7	12164,4	0,0	12164,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i}$ тр./сцеп.	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 12164,4 / 8916,7 = 1,364$$

4.2 Геомеханический расчет по профильной линии 2-2

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 155,33 \text{ м}, \quad Y_c = 179,49 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 140,61 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

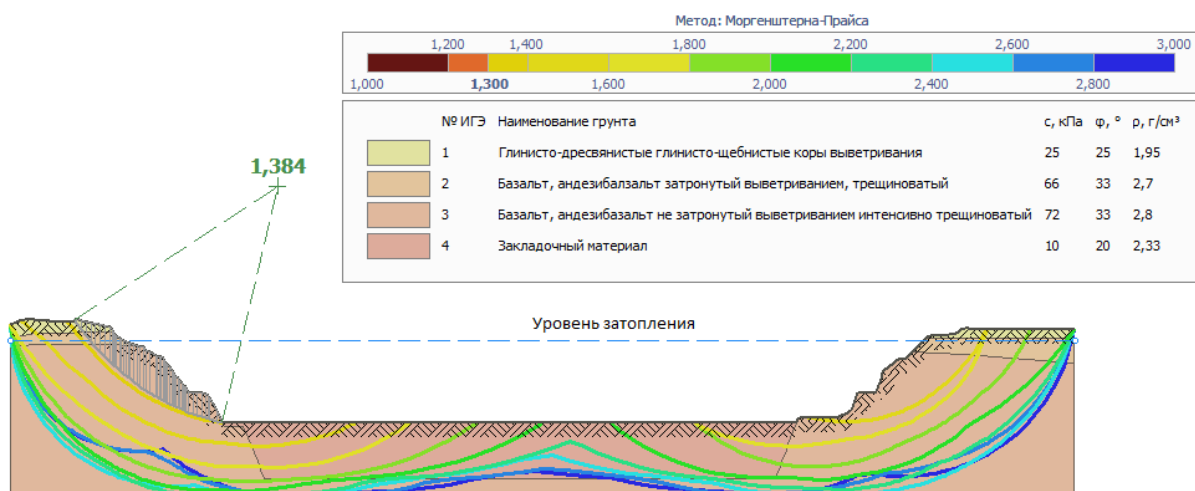
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,384

Площадь призмы: 1382,10 м²

Число элементарных призм: 53

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см ³	C_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	1,9	25,0	25,0	0,466	1,82	1,10	-56,3
1	2,0	25,0	25,0	0,466	4,75	9,92	-54,9
2	2,0	47,6	29,6	0,567	4,53	17,90	-53,0
3	2,2	65,4	32,7	0,642	4,35	25,71	-51,2
4	2,4	62,3	29,7	0,570	4,19	32,93	-49,5
5	2,5	64,8	29,7	0,570	4,05	39,62	-47,8
6	2,6	64,8	29,7	0,570	3,93	45,84	-46,2
7	2,6	64,8	29,7	0,570	3,82	51,63	-44,6
8	2,7	64,8	29,7	0,570	1,78	25,64	-43,5
9	2,7	64,8	29,7	0,570	1,54	22,40	-42,8
10	2,8	64,8	29,7	0,570	0,70	10,04	-42,3
11	2,8	64,8	29,7	0,570	0,83	11,49	-42,0
12	2,8	64,8	29,7	0,570	2,90	40,77	-41,3
13	2,8	64,8	29,7	0,570	1,41	20,23	-40,4
14	2,8	64,8	29,7	0,570	1,77	26,09	-39,7
15	2,8	64,8	29,7	0,570	1,33	20,04	-39,1
16	2,8	64,8	29,7	0,570	1,84	28,64	-38,5
17	2,8	64,8	29,7	0,570	0,90	14,48	-37,9
18	2,8	64,8	29,7	0,570	2,88	48,57	-37,1
19	2,8	64,8	29,7	0,570	2,77	49,56	-36,0
20	2,8	64,8	29,7	0,570	2,16	40,25	-35,0
21	2,8	64,8	29,7	0,570	2,32	45,24	-34,1
22	2,8	64,8	29,7	0,570	2,17	43,24	-33,2
23	2,8	64,8	29,7	0,570	2,09	41,62	-32,3
24	2,8	64,8	29,7	0,570	3,89	78,12	-31,1
25	2,8	64,8	29,7	0,570	0,99	20,14	-30,1
26	2,8	64,8	29,7	0,570	1,83	38,24	-29,5
27	2,8	64,8	29,7	0,570	1,06	22,83	-28,9
28	2,8	64,8	29,7	0,570	1,48	31,85	-28,4
29	2,8	64,8	29,7	0,570	0,92	19,51	-27,9
30	2,8	64,8	29,7	0,570	1,11	22,83	-27,5
31	2,8	64,8	29,7	0,570	0,69	13,67	-27,1
32	2,8	64,8	29,7	0,570	1,04	20,22	-26,8
33	2,8	64,8	29,7	0,570	1,95	36,18	-26,2
34	2,8	64,8	29,7	0,570	0,84	15,05	-25,6
35	2,8	64,8	29,7	0,570	0,65	11,26	-25,3
36	2,8	64,8	29,7	0,570	1,01	16,70	-25,0
37	2,8	64,8	29,7	0,570	1,05	16,54	-24,5
38	2,8	64,8	29,7	0,570	1,01	15,23	-24,1
39	2,8	64,8	29,7	0,570	1,37	19,71	-23,6
40	2,8	64,8	29,7	0,570	0,97	13,18	-23,2
41	2,8	64,8	29,7	0,570	1,23	15,89	-22,7
42	2,8	64,8	29,7	0,570	0,86	11,12	-22,3
43	2,8	64,8	29,7	0,570	1,45	17,14	-21,8
44	2,8	64,8	29,7	0,570	2,68	29,72	-21,0
45	2,8	64,8	29,7	0,570	2,85	34,39	-19,8
46	2,8	64,8	29,7	0,570	2,83	36,89	-18,7

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
47	2,8	64,8	29,7	0,570	2,02	27,37	-17,7
48	2,8	64,8	29,7	0,570	1,66	22,44	-17,0
49	2,8	64,8	29,7	0,570	0,90	11,57	-16,4
50	2,8	64,8	29,7	0,570	4,34	40,90	-15,4
51	2,8	64,8	29,7	0,570	2,58	10,07	-14,0
52	2,8	64,8	29,7	0,570	0,62	0,40	-13,3
Итого:					106,70	1382,10	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	21,1	17,6	11,7	10,0	5,5	45,6	51,1
1	189,8	155,3	109,0	-138,4	50,8	118,8	169,7
2	353,7	282,6	212,6	-238,8	120,6	215,5	336,1
3	566,9	441,8	354,7	-392,0	227,8	284,2	512,0
4	773,3	549,4	469,2	-545,2	267,7	261,2	528,9
5	972,0	621,4	563,1	-632,0	321,2	262,6	583,8
6	1158,3	683,4	655,5	-713,2	373,9	254,7	628,6
7	1332,5	735,7	745,6	-787,6	425,3	247,7	673,0
8	675,1	354,6	374,0	-386,5	213,3	115,1	328,4
9	601,6	304,8	329,2	-335,3	187,8	100,0	287,8
10	272,2	133,3	146,3	-147,2	83,5	45,7	129,1
11	312,0	148,2	164,4	-163,8	93,8	53,6	147,4
12	1110,1	502,9	573,1	-564,0	326,9	187,7	514,6
13	552,1	237,4	279,0	-271,8	159,2	91,1	250,2
14	713,0	295,8	355,7	-344,7	202,9	115,0	317,9
15	548,3	221,9	272,9	-263,8	155,7	86,4	242,0
16	784,4	313,2	394,2	-381,1	224,9	119,4	344,3
17	396,9	156,5	201,1	-194,5	114,7	58,3	173,0
18	1331,7	516,3	681,8	-660,7	388,9	186,4	575,3
19	1360,4	513,7	707,4	-687,7	403,5	179,4	582,8
20	1105,5	407,4	582,3	-568,4	332,1	139,8	472,0
21	1242,6	447,5	661,7	-649,1	377,4	150,2	527,7

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
22	1187,6	417,6	639,2	-630,7	364,6	140,3	504,9
23	1143,2	392,6	621,3	-617,3	354,4	135,4	489,8
24	2145,8	712,0	1181,5	-1187,3	673,9	251,8	925,7
25	553,1	178,2	307,7	-312,4	175,5	64,3	239,8
26	1050,4	332,6	587,7	-599,8	335,2	118,7	453,9
27	627,1	194,9	352,9	-362,0	201,3	68,7	270,0
28	875,0	267,5	494,8	-510,4	282,2	95,7	378,0
29	536,0	161,3	304,5	-316,0	173,7	59,7	233,4
30	627,1	186,1	357,6	-373,5	204,0	72,0	276,0
31	375,5	110,1	214,9	-225,7	122,5	44,4	167,0
32	555,3	160,8	318,7	-336,6	181,8	67,7	249,4
33	993,7	281,7	573,3	-611,1	327,0	126,3	453,3
34	413,3	114,8	239,6	-257,6	136,7	54,6	191,3
35	309,3	84,9	179,8	-194,1	102,5	42,0	144,6
36	458,8	124,4	267,4	-290,7	152,5	65,3	217,8
37	454,4	121,3	265,8	-291,2	151,6	68,1	219,7
38	418,3	109,9	245,4	-270,7	140,0	65,3	205,3
39	541,3	139,5	318,8	-354,2	181,8	88,8	270,6
40	362,0	91,5	214,0	-239,6	122,1	63,0	185,1
41	436,4	108,3	258,8	-291,4	147,6	79,4	227,0
42	305,3	74,4	181,6	-204,6	103,6	55,8	159,4
43	470,9	112,5	281,0	-319,5	160,3	93,8	254,1
44	816,5	187,8	490,1	-558,6	279,6	173,6	453,2
45	944,6	206,1	571,2	-637,1	325,8	184,5	510,2
46	1013,4	208,8	617,1	-670,9	352,0	183,2	535,2
47	751,8	147,0	460,4	-489,0	262,6	130,7	393,4
48	616,4	115,5	379,1	-395,0	216,2	107,7	323,9
49	317,9	57,8	196,0	-201,6	111,8	58,4	170,2
50	1123,5	191,3	696,4	-693,7	397,2	281,4	678,7
51	276,6	42,9	172,6	-152,1	98,4	167,1	265,5
52	10,9	1,6	6,8	-0,7	3,9	40,3	44,2
Итого:	37085,2	13676,5			11899,5	6566,7	18466,1

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека

$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i -го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i -го отсека без учета влияния армирующих элементов.
---	------	---

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Morgenштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{\text{акт } i},$ кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i},$ кН*м /м
0	2467,8	6415,3	0,0	6415,3
1	21839,1	25784,3	0,0	25784,3
2	39735,4	49337,5	0,0	49337,5
3	62112,6	75360,3	0,0	75360,3
4	77247,3	80454,8	0,0	80454,8
5	87374,7	87606,2	0,0	87606,2
6	96086,6	93015,9	0,0	93015,9
7	103434,5	97995,1	0,0	97995,1
8	49863,0	47175,6	0,0	47175,6
9	42857,8	40953,6	0,0	40953,6
10	18747,5	18231,9	0,0	18231,9
11	20839,4	20672,8	0,0	20672,8
12	70708,5	71625,2	0,0	71625,2
13	33382,6	34606,8	0,0	34606,8
14	41619,9	43819,8	0,0	43819,8
15	31199,4	33304,6	0,0	33304,6
16	44036,9	47357,2	0,0	47357,2
17	22012,7	23798,4	0,0	23798,4
18	72599,2	79203,4	0,0	79203,4
19	72227,7	80374,7	0,0	80374,7
20	57290,5	65246,3	0,0	65246,3
21	62925,2	73181,2	0,0	73181,2
22	58712,8	70313,2	0,0	70313,2
23	55203,9	68544,2	0,0	68544,2
24	100101,0	130617,6	0,0	130617,6
25	25059,0	34098,7	0,0	34098,7
26	46761,0	64789,2	0,0	64789,2
27	27405,9	38696,3	0,0	38696,3
28	37614,2	54399,7	0,0	54399,7
29	22675,8	33748,1	0,0	33748,1
30	26167,2	40083,1	0,0	40083,1
31	15478,2	24349,1	0,0	24349,1
32	22611,7	36511,5	0,0	36511,5
33	39608,3	66767,1	0,0	66767,1
34	16141,9	28340,5	0,0	28340,5
35	11944,1	21480,4	0,0	21480,4
36	17496,1	32492,4	0,0	32492,4
37	17058,4	32932,8	0,0	32932,8
38	15449,1	30886,1	0,0	30886,1
39	19615,1	40889,2	0,0	40889,2
40	12868,1	28080,3	0,0	28080,3
41	15227,1	34535,0	0,0	34535,0

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i} тр./сцепл., кН*м /м	M _{реакт i} арм., кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
42	10465,7	24257,0	0,0	24257,0
43	15815,7	38814,2	0,0	38814,2
44	26412,7	69216,8	0,0	69216,8
45	28984,1	77031,7	0,0	77031,7
46	29352,2	79564,1	0,0	79564,1
47	20664,9	57601,6	0,0	57601,6
48	16247,2	46817,8	0,0	46817,8
49	8128,1	24372,3	0,0	24372,3
50	26901,7	95196,7	0,0	95196,7
51	6028,3	35692,2	0,0	35692,2
52	227,2	5732,1	0,0	5732,1
Итого:	1923034,6	2662371,9	0,0	2662371,9

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i} тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i} арм.	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 2662371,9 / 1923034,6 = 1,384$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица сил

i	F _{х акт i} , кН/м	F _{х реакт i} тр./сцеп., кН/м	F _{х реакт i} арм., кН/м	F _{х реакт i} , кН/м
0	-8,3	25,3	0,0	25,3
1	113,3	105,4	0,0	105,4
2	190,8	211,0	0,0	211,0
3	305,7	335,6	0,0	335,6
4	414,6	371,6	0,0	371,6
5	468,3	418,4	0,0	418,4
6	514,7	457,9	0,0	457,9
7	553,2	496,1	0,0	496,1
8	265,9	243,5	0,0	243,5
9	227,8	213,7	0,0	213,7
10	99,2	95,8	0,0	95,8
11	109,7	109,2	0,0	109,2
12	372,0	382,9	0,0	382,9
13	176,1	187,4	0,0	187,4
14	220,4	239,6	0,0	239,6
15	166,4	183,8	0,0	183,8
16	237,1	263,7	0,0	263,7
17	119,5	133,5	0,0	133,5
18	398,9	449,1	0,0	449,1

i	$F_{x \text{ акт } i}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i}$, кН/м
19	404,1	462,5	0,0	462,5
20	325,8	380,2	0,0	380,2
21	363,6	431,1	0,0	431,1
22	344,9	418,6	0,0	418,6
23	329,7	412,1	0,0	412,1
24	612,8	795,7	0,0	795,7
25	156,6	209,8	0,0	209,8
26	295,4	401,0	0,0	401,0
27	175,0	240,9	0,0	240,9
28	242,7	340,3	0,0	340,3
29	147,9	212,1	0,0	212,1
30	172,4	252,9	0,0	252,9
31	102,9	154,1	0,0	154,1
32	151,6	231,8	0,0	231,8
33	269,5	426,2	0,0	426,2
34	111,3	181,8	0,0	181,8
35	82,9	138,1	0,0	138,1
36	122,6	209,5	0,0	209,5
37	120,9	213,1	0,0	213,1
38	110,6	200,5	0,0	200,5
39	142,0	266,4	0,0	266,4
40	94,2	183,6	0,0	183,6
41	112,5	226,6	0,0	226,6
42	77,6	159,6	0,0	159,6
43	118,7	256,3	0,0	256,3
44	199,9	459,7	0,0	459,7
45	216,3	515,3	0,0	515,3
46	215,0	536,0	0,0	536,0
47	148,7	390,3	0,0	390,3
48	115,2	318,5	0,0	318,5
49	57,0	166,3	0,0	166,3
50	183,8	652,9	0,0	652,9
51	36,7	246,4	0,0	246,4
52	0,2	39,7	0,0	39,7
Итого:	11306,5	15653,4	0,0	15653,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 15653,4 / 11306,5 = 1,384$$

4.3 Геомеханический расчет по профильной линии 3-3

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 178,89 \text{ м}, \quad Y_c = 132,44 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 93,77 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

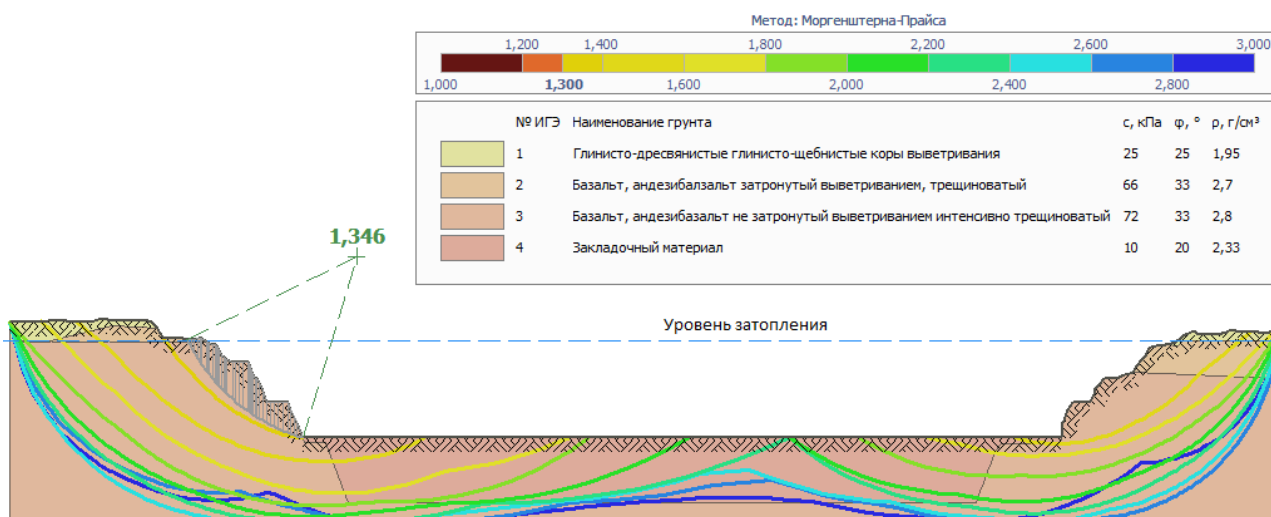
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,346

Площадь призмы: 827,98 м²

Число элементарных призм: 41

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ _i , г/см³	c _i , кПа	φ _i , град	tgφ _i	l _i , м	A _i , м²	α _i , град
0	2,7	64,3	30,6	0,592	4,38	3,76	-62,9
1	2,8	64,8	29,7	0,570	3,26	8,34	-60,5
2	2,8	64,8	29,7	0,570	3,39	14,87	-58,5
3	2,8	64,8	29,7	0,570	2,10	12,69	-56,8
4	2,8	64,8	29,7	0,570	1,60	11,28	-55,7
5	2,8	64,8	29,7	0,570	3,85	31,18	-54,0
6	2,8	64,8	29,7	0,570	1,02	9,16	-52,5
7	2,8	64,8	29,7	0,570	0,96	8,97	-51,9
8	2,8	64,8	29,7	0,570	2,73	27,87	-50,8
9	2,8	64,8	29,7	0,570	2,43	28,26	-49,2

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
10	2,8	64,8	29,7	0,570	1,25	15,75	-48,1
11	2,8	64,8	29,7	0,570	0,88	11,39	-47,4
12	2,8	64,8	29,7	0,570	0,80	10,28	-46,9
13	2,8	64,8	29,7	0,570	1,89	22,84	-46,1
14	2,8	64,8	29,7	0,570	1,09	12,69	-45,2
15	2,8	64,8	29,7	0,570	1,17	13,97	-44,5
16	2,8	64,8	29,7	0,570	1,12	13,73	-43,8
17	2,8	64,8	29,7	0,570	3,74	48,83	-42,3
18	2,8	64,8	29,7	0,570	2,29	32,88	-40,5
19	2,8	64,8	29,7	0,570	2,24	35,32	-39,1
20	2,8	64,8	29,7	0,570	2,52	43,33	-37,6
21	2,8	64,8	29,7	0,570	2,47	46,22	-36,1
22	2,8	64,8	29,7	0,570	0,81	15,81	-35,1
23	2,8	64,8	29,7	0,570	0,96	18,31	-34,6
24	2,8	64,8	29,7	0,570	0,94	17,14	-34,0
25	2,8	64,8	29,7	0,570	0,86	14,84	-33,5
26	2,8	64,8	29,7	0,570	0,99	16,07	-32,9
27	2,8	64,8	29,7	0,570	0,86	13,63	-32,3
28	2,8	64,8	29,7	0,570	1,61	25,26	-31,6
29	2,8	64,8	29,7	0,570	1,93	27,02	-30,5
30	2,8	64,8	29,7	0,570	2,48	26,66	-29,1
31	2,8	64,8	29,7	0,570	2,01	18,79	-27,8
32	2,8	64,8	29,7	0,570	1,99	20,42	-26,5
33	2,8	64,8	29,7	0,570	2,47	27,87	-25,2
34	2,8	64,8	29,7	0,570	2,44	30,15	-23,7
35	2,8	64,8	29,7	0,570	2,42	32,27	-22,2
36	2,8	64,8	29,7	0,570	1,65	20,70	-20,9
37	2,8	64,8	29,7	0,570	1,72	17,14	-19,9
38	2,8	64,8	29,7	0,570	1,71	12,83	-18,9
39	2,8	64,8	29,7	0,570	2,51	9,20	-17,6
40	2,8	64,8	29,7	0,570	0,49	0,25	-16,7
Итого:					78,03	827,98	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	100,9	71,7	36,7	189,5	21,7	281,1	302,8
1	226,7	138,9	78,5	-50,4	44,8	211,5	256,3
2	405,1	239,5	146,8	-176,2	83,7	220,0	303,7
3	346,0	200,3	131,0	-171,4	74,7	136,1	210,8
4	308,0	174,0	118,8	-155,1	67,7	103,7	171,5
5	853,7	454,1	329,7	-412,9	188,0	249,2	437,3
6	251,4	128,2	98,3	-118,5	56,1	66,3	122,4
7	246,4	124,7	97,7	-116,2	55,7	62,5	118,2
8	765,5	381,3	311,0	-362,5	177,4	176,7	354,1
9	776,2	377,8	325,9	-369,3	185,9	157,3	343,2
10	432,6	207,0	185,7	-206,1	105,9	81,1	187,0
11	312,8	148,1	136,0	-149,0	77,6	57,0	134,5
12	282,5	132,7	124,0	-134,1	70,7	51,7	122,5
13	627,2	290,6	279,5	-294,9	159,4	122,7	282,2
14	348,7	159,0	157,9	-163,3	90,1	70,9	161,0
15	383,7	172,9	175,9	-180,6	100,3	75,8	176,2
16	377,2	167,8	175,0	-178,5	99,8	72,6	172,4
17	1341,1	580,5	637,5	-644,5	363,6	242,2	605,8
18	903,1	376,9	441,6	-443,7	251,9	148,1	400,0
19	970,2	393,4	484,0	-485,9	276,1	145,2	421,3
20	1190,2	467,3	605,8	-608,5	345,6	163,1	508,6
21	1269,5	481,1	659,2	-663,9	376,0	159,8	535,8
22	434,2	160,6	228,3	-230,6	130,2	52,5	182,7
23	502,9	183,5	266,2	-269,4	151,8	62,1	213,9
24	470,9	169,3	251,0	-254,8	143,2	60,8	204,0
25	407,7	144,5	218,7	-222,9	124,7	56,0	180,7
26	441,5	154,1	238,4	-244,2	136,0	64,3	200,3
27	374,4	128,7	203,4	-209,3	116,0	55,5	171,5
28	693,8	233,5	380,1	-393,4	216,8	104,6	321,3
29	742,3	242,1	411,2	-431,0	234,6	125,2	359,8
30	732,2	229,2	411,1	-441,8	234,5	160,4	395,0
31	516,3	154,6	293,7	-321,4	167,5	130,2	297,7
32	560,8	161,1	322,5	-351,0	184,0	128,8	312,7
33	765,6	209,4	445,4	-479,9	254,1	160,3	414,3
34	828,1	213,8	487,6	-517,2	278,1	158,4	436,5
35	886,4	215,2	527,6	-548,1	300,9	156,6	457,6
36	568,7	130,7	341,4	-348,1	194,8	107,1	301,9
37	470,9	103,1	284,6	-284,2	162,3	111,2	273,6
38	352,3	73,3	214,3	-206,2	122,2	110,5	232,7
39	252,8	49,1	154,9	-130,5	88,4	162,9	251,3
40	6,9	1,3	4,3	2,0	2,4	31,5	34,0
Итого:	22727,5	8824,7			6515,4	5053,7	11569,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Morgenштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{\text{акт } i},$ кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i},$ кН*м /м
0	6730,9	26350,5	0,0	26350,5
1	13020,3	22524,2	0,0	22524,2
2	22455,9	30042,0	0,0	30042,0
3	18775,9	21928,0	0,0	21928,0
4	16313,4	18021,0	0,0	18021,0
5	42612,2	45444,8	0,0	45444,8
6	12022,0	12555,6	0,0	12555,6
7	11693,2	12076,3	0,0	12076,3
8	35749,9	35950,6	0,0	35950,6
9	35424,6	34494,2	0,0	34494,2
10	19408,7	18625,0	0,0	18625,0
11	13891,0	13307,1	0,0	13307,1
12	12438,9	12020,6	0,0	12020,6
13	27247,0	27276,7	0,0	27276,7
14	14911,6	15379,3	0,0	15379,3
15	16211,4	16768,9	0,0	16768,9
16	15737,7	16358,7	0,0	16358,7
17	54419,5	57166,5	0,0	57166,5
18	35339,3	37616,7	0,0	37616,7
19	36880,8	39596,2	0,0	39596,2
20	43814,7	47831,2	0,0	47831,2
21	45107,9	50490,5	0,0	50490,5
22	15056,6	17254,4	0,0	17254,4
23	17204,1	20230,1	0,0	20230,1
24	15874,0	19331,6	0,0	19331,6
25	13545,9	17173,3	0,0	17173,3
26	14450,2	19090,0	0,0	19090,0
27	12065,7	16392,9	0,0	16392,9

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i} тр./сцепл., кН*м /м	M _{реакт i} арм., кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
28	21891,8	30841,5	0,0	30841,5
29	22695,3	34789,4	0,0	34789,4
30	21485,3	38668,2	0,0	38668,2
31	14494,9	29396,5	0,0	29396,5
32	15104,6	30846,2	0,0	30846,2
33	19632,9	40691,7	0,0	40691,7
34	20044,5	42505,6	0,0	42505,6
35	20178,7	43998,0	0,0	43998,0
36	12255,8	28662,1	0,0	28662,1
37	9669,2	25630,9	0,0	25630,9
38	6868,6	21389,2	0,0	21389,2
39	4603,9	22249,3	0,0	22249,3
40	119,8	2958,1	0,0	2958,1
Итого:	827448,5	1113923,5	0,0	1113923,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i} тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i} арм.	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 1113923,5 / 827448,5 = 1,346$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Morgenstern-Price. Таблица сил

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i} тр./сцеп., кН/м	F _{x реакт i} арм., кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
0	-168,6	128,2	0,0	128,2
1	43,8	118,2	0,0	118,2
2	150,2	167,5	0,0	167,5
3	143,5	128,0	0,0	128,0
4	128,1	108,4	0,0	108,4
5	334,1	284,8	0,0	284,8
6	94,0	81,5	0,0	81,5
7	91,5	79,4	0,0	79,4
8	280,9	242,4	0,0	242,4
9	279,6	240,3	0,0	240,3
10	153,4	132,7	0,0	132,7
11	109,7	96,0	0,0	96,0
12	97,9	87,5	0,0	87,5
13	212,5	201,7	0,0	201,7
14	115,8	115,6	0,0	115,6
15	126,6	127,5	0,0	127,5
16	123,6	125,9	0,0	125,9
17	433,9	450,9	0,0	450,9
18	288,1	305,2	0,0	305,2

i	F _{х акт i} , кН/м	F _{х реакт i тр./сцеп.} , кН/м	F _{х реакт i арм.} , кН/м	F _{х реакт i} , кН/м
19	306,4	327,7	0,0	327,7
20	371,7	403,9	0,0	403,9
21	391,4	435,0	0,0	435,0
22	132,6	150,5	0,0	150,5
23	152,9	177,6	0,0	177,6
24	142,5	170,9	0,0	170,9
25	122,9	152,8	0,0	152,8
26	132,6	171,0	0,0	171,0
27	111,9	147,7	0,0	147,7
28	205,9	280,3	0,0	280,3
29	218,6	319,8	0,0	319,8
30	215,1	360,2	0,0	360,2
31	149,7	277,4	0,0	277,4
32	156,8	294,3	0,0	294,3
33	204,2	392,8	0,0	392,8
34	207,7	415,2	0,0	415,2
35	207,0	434,5	0,0	434,5
36	124,5	285,5	0,0	285,5
37	96,8	257,0	0,0	257,0
38	66,7	215,9	0,0	215,9
39	39,4	226,2	0,0	226,2
40	-0,6	30,2	0,0	30,2
Итого:	6795,5	9148,1	0,0	9148,1

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
F _{х акт i}	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
F _{х реакт i тр./сцеп.}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
F _{х реакт i арм.}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
F _{х реакт i}	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 9148,1 / 6795,5 = 1,346$$

4.4 Геомеханический расчет по профильной линии 4-4

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 46,73 \text{ м}, \quad Y_c = 115,41 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 27,27 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

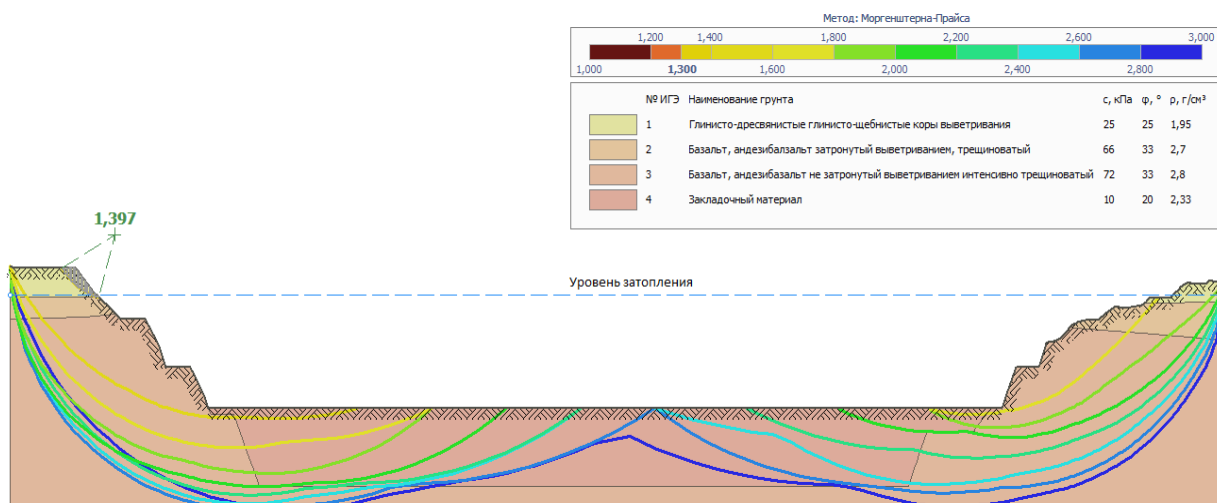
Метод расчета: Метод Моргенштерна-Прайса

Коэффициент устойчивости: 1,397

Площадь призмы: 61,05 м²

Число элементарных призм: 29

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ _i , г/см³	c _i , кПа	φ _i , град	tgφ _i	l _i , м	A _i , м²	α _i , град
0	1,9	25,0	25,0	0,466	1,25	0,35	-58,3
1	2,0	25,0	25,0	0,466	1,17	1,01	-55,7
2	2,0	25,0	25,0	0,466	0,96	1,39	-53,5
3	1,9	25,0	25,0	0,466	0,92	1,83	-51,5
4	1,9	25,0	25,0	0,466	0,88	2,25	-49,6
5	2,0	25,0	25,0	0,466	0,85	2,64	-47,8
6	2,0	25,0	25,0	0,466	0,82	3,01	-46,0
7	2,0	25,0	25,0	0,466	0,76	3,16	-44,4
8	2,0	25,0	25,0	0,466	0,74	3,42	-42,8
9	1,9	25,0	25,0	0,466	0,72	3,67	-41,3
10	2,0	25,0	25,0	0,466	0,96	5,08	-39,5
11	1,9	25,0	25,0	0,466	0,68	3,48	-37,8
12	2,0	25,0	25,0	0,466	0,66	3,34	-36,4
13	2,0	25,0	25,0	0,466	0,65	3,18	-35,0
14	1,9	25,0	25,0	0,466	0,64	3,00	-33,6
15	2,0	25,0	25,0	0,466	0,63	2,83	-32,3
16	2,0	25,0	25,0	0,466	0,62	2,64	-31,0
17	2,0	25,0	25,0	0,466	0,62	2,44	-29,6
18	2,0	25,0	25,0	0,466	0,61	2,23	-28,4
19	1,9	25,0	25,0	0,466	0,60	2,02	-27,1
20	1,9	25,0	25,0	0,466	0,59	1,79	-25,8

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
21	2,0	25,0	25,0	0,466	0,59	1,56	-24,6
22	2,0	25,0	25,0	0,466	0,58	1,33	-23,4
23	2,0	25,0	25,0	0,466	0,58	1,08	-22,2
24	1,9	25,0	25,0	0,466	0,57	0,83	-20,9
25	2,0	25,0	25,0	0,466	0,65	0,70	-19,7
26	1,9	25,0	25,0	0,466	0,65	0,49	-18,3
27	1,9	25,0	25,0	0,466	0,53	0,24	-17,1
28	2,0	25,0	25,0	0,466	0,52	0,08	-16,0
Итого:					21,02	61,05	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	6,7	5,7	3,5	20,2	1,6	31,3	33,0
1	19,4	16,0	10,9	-5,8	5,1	29,3	34,4
2	26,5	21,3	15,8	-16,9	7,4	24,0	31,4
3	35,1	27,4	21,8	-26,0	10,2	23,0	33,2
4	43,1	32,8	27,9	-33,6	13,0	22,1	35,1
5	50,6	37,5	34,0	-40,3	15,9	21,3	37,1
6	57,7	41,5	40,0	-46,3	18,7	20,6	39,3
7	60,4	42,2	43,2	-48,6	20,1	18,9	39,1
8	65,4	44,4	48,0	-52,8	22,4	18,4	40,8
9	70,1	46,2	52,7	-56,8	24,6	18,0	42,6
10	97,1	61,7	74,9	-78,8	34,9	24,1	59,0
11	66,7	40,8	52,7	-54,4	24,6	16,9	41,5
12	63,8	37,8	51,4	-52,5	24,0	16,6	40,6
13	60,7	34,8	49,8	-50,6	23,2	16,3	39,5
14	57,5	31,8	47,9	-48,6	22,3	16,0	38,4
15	54,0	28,9	45,7	-46,5	21,3	15,8	37,1
16	50,4	25,9	43,2	-44,2	20,2	15,6	35,7
17	46,6	23,1	40,5	-41,7	18,9	15,4	34,3
18	42,7	20,3	37,6	-38,9	17,5	15,2	32,7
19	38,6	17,6	34,3	-35,9	16,0	15,0	31,0

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
20	34,3	15,0	30,9	-32,4	14,4	14,8	29,3
21	29,9	12,4	27,2	-28,7	12,7	14,7	27,4
22	25,4	10,1	23,3	-24,6	10,9	14,6	25,4
23	20,7	7,8	19,1	-20,1	8,9	14,4	23,4
24	15,8	5,4	14,2	-14,7	6,6	14,3	20,9
25	13,4	3,8	10,7	-10,6	5,0	16,3	21,2
26	9,3	1,9	5,7	-4,8	2,7	16,1	18,8
27	4,5	0,6	2,1	-0,7	1,0	13,2	14,2
28	1,5	0,2	0,7	1,5	0,3	13,1	13,5
Итого:	1167,8	695,0			424,3	525,4	949,7

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Morgenштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{акт\ i}$, кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$, кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.}$, кН*м /м	$M_{реакт\ i}$, кН*м /м
0	154,8	854,1	0,0	854,1
1	437,2	871,2	0,0	871,2
2	581,1	870,2	0,0	870,2
3	748,2	957,0	0,0	957,0
4	894,2	1029,7	0,0	1029,7
5	1021,3	1093,1	0,0	1093,1
6	1131,2	1150,5	0,0	1150,5
7	1151,1	1134,4	0,0	1134,4
8	1211,3	1173,7	0,0	1173,7
9	1261,1	1212,8	0,0	1212,8
10	1683,4	1659,2	0,0	1659,2
11	1112,9	1152,5	0,0	1152,5
12	1031,1	1120,4	0,0	1120,4

i	$M_{акт\ i},$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.},$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.},$ кН*м /м	$M_{реакт\ i},$ кН*м /м
13	949,2	1088,5	0,0	1088,5
14	867,6	1056,1	0,0	1056,1
15	786,8	1022,6	0,0	1022,6
16	707,2	987,3	0,0	987,3
17	629,1	949,7	0,0	949,7
18	553,0	909,2	0,0	909,2
19	479,1	865,2	0,0	865,2
20	407,8	817,5	0,0	817,5
21	339,5	765,7	0,0	765,7
22	274,2	709,6	0,0	709,6
23	212,4	649,3	0,0	649,3
24	147,9	577,1	0,0	577,1
25	104,0	578,0	0,0	578,0
26	51,7	500,8	0,0	500,8
27	17,5	368,5	0,0	368,5
28	5,5	357,9	0,0	357,9
Итого:	18951,5	26481,8	0,0	26481,8

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i}$ тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсе- ка
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 26481,8 / 18951,5 = 1,397$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Morgenstern-Price. Таблица сил

i	$F_{х\ акт\ i},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i\ тр./сцеп.},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i\ арм.},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i},$ кН/м
0	-17,1	16,5	0,0	16,5
1	4,8	18,0	0,0	18,0
2	13,6	19,0	0,0	19,0
3	20,3	21,9	0,0	21,9
4	25,6	24,5	0,0	24,5
5	29,9	26,9	0,0	26,9
6	33,3	29,3	0,0	29,3
7	34,0	29,7	0,0	29,7
8	35,8	31,6	0,0	31,6
9	37,4	33,4	0,0	33,4
10	50,1	47,0	0,0	47,0
11	33,3	33,4	0,0	33,4
12	31,1	33,1	0,0	33,1
13	29,0	32,7	0,0	32,7
14	26,9	32,3	0,0	32,3
15	24,8	31,7	0,0	31,7

i	$F_{x \text{ акт } i}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i}$, кН/м
16	22,7	31,1	0,0	31,1
17	20,6	30,3	0,0	30,3
18	18,5	29,3	0,0	29,3
19	16,3	28,2	0,0	28,2
20	14,1	27,0	0,0	27,0
21	11,9	25,5	0,0	25,5
22	9,8	23,9	0,0	23,9
23	7,6	22,1	0,0	22,1
24	5,3	19,8	0,0	19,8
25	3,6	20,0	0,0	20,0
26	1,5	17,4	0,0	17,4
27	0,2	12,9	0,0	12,9
28	-0,4	12,6	0,0	12,6
Итого:	544,6	761,0	0,0	761,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 761,0 / 544,6 = 1,397$$

4.5 Геомеханический расчет по профильной линии 5-5

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 99,98 \text{ м}, \quad Y_c = 116,00 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 28,10 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

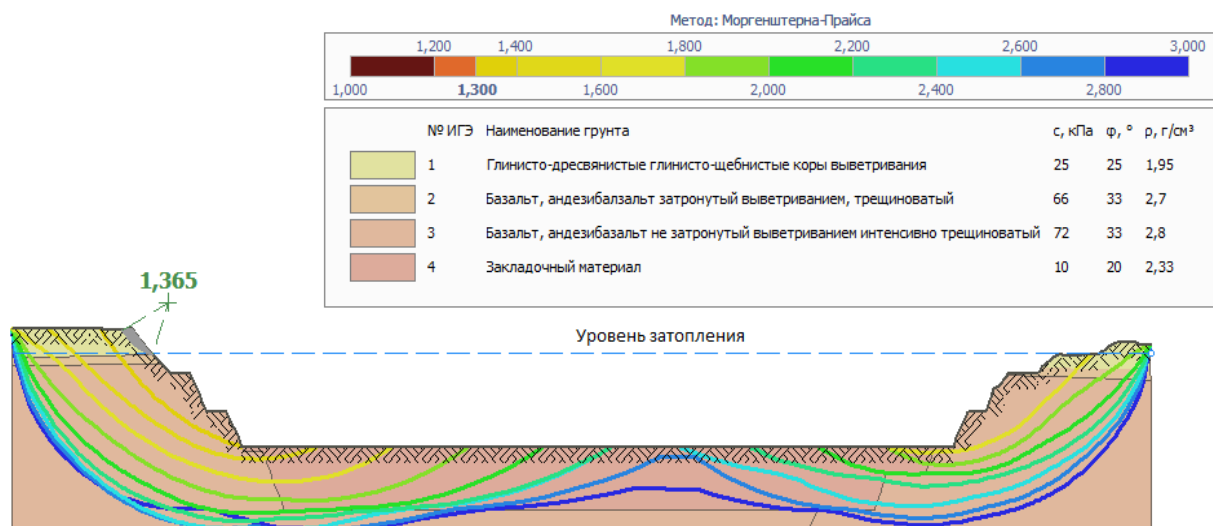
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,365

Площадь призмы: 60,91 м²

Число элементарных призм: 30

Сдвиг призмы: слева направо


Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	1,9	25,0	25,0	0,466	0,94	0,20	-59,5
1	2,0	25,0	25,0	0,466	0,90	0,58	-57,6
2	1,9	25,0	25,0	0,466	1,10	1,30	-55,6
3	2,0	25,0	25,0	0,466	1,05	1,90	-53,4
4	2,0	25,0	25,0	0,466	1,00	2,45	-51,3
5	2,0	25,0	25,0	0,466	0,75	2,26	-49,5
6	2,0	25,0	25,0	0,466	0,73	2,51	-48,0
7	1,9	25,0	25,0	0,466	0,71	2,76	-46,5
8	2,0	25,0	25,0	0,466	0,58	2,49	-45,2
9	2,0	25,0	25,0	0,466	0,57	2,66	-44,0
10	2,0	25,0	25,0	0,466	0,69	3,36	-42,7
11	2,0	25,0	25,0	0,466	0,73	3,52	-41,3
12	1,9	25,0	25,0	0,466	0,72	3,41	-39,8
13	2,0	25,0	25,0	0,466	0,70	3,29	-38,4
14	1,9	25,0	25,0	0,466	0,69	3,16	-36,9
15	2,0	25,0	25,0	0,466	0,68	3,02	-35,6
16	1,9	25,0	25,0	0,466	0,67	2,87	-34,2
17	2,0	25,0	25,0	0,466	0,65	2,70	-32,8
18	1,9	25,0	25,0	0,466	0,67	2,61	-31,5
19	2,0	25,0	25,0	0,466	0,66	2,41	-30,1
20	2,0	25,0	25,0	0,466	0,65	2,21	-28,8
21	2,0	25,0	25,0	0,466	0,64	1,99	-27,5
22	2,0	25,0	25,0	0,466	0,63	1,77	-26,2
23	1,9	25,0	25,0	0,466	0,63	1,53	-24,9
24	2,0	25,0	25,0	0,466	0,62	1,29	-23,6
25	1,9	25,0	25,0	0,466	0,61	1,04	-22,4
26	2,0	25,0	25,0	0,466	0,61	0,78	-21,1
27	2,0	25,0	25,0	0,466	0,60	0,51	-19,9
28	1,9	25,0	25,0	0,466	0,58	0,27	-18,7
29	1,9	25,0	25,0	0,466	0,57	0,09	-17,5
Итого:					21,33	60,91	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$tg\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot tg\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot tg\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	3,8	3,3	1,9	19,4	0,9	23,6	24,5
1	11,1	9,4	6,0	1,1	2,8	22,4	25,2
2	24,9	20,6	14,1	-12,9	6,6	27,6	34,2
3	36,3	29,1	21,6	-25,6	10,1	26,2	36,3
4	46,8	36,5	29,3	-35,9	13,7	25,0	38,6
5	43,2	32,8	28,0	-33,9	13,1	18,8	31,9
6	48,1	35,7	32,2	-38,0	15,0	18,3	33,3
7	52,7	38,3	36,3	-41,7	16,9	17,8	34,7
8	47,6	33,8	33,6	-37,7	15,7	14,5	30,1
9	50,8	35,3	36,6	-40,3	17,0	14,2	31,3
10	64,2	43,6	47,1	-50,8	22,0	17,3	39,3
11	67,2	44,4	50,5	-53,2	23,6	18,3	41,9
12	65,2	41,8	50,1	-51,8	23,4	17,9	41,3
13	63,0	39,1	49,4	-50,5	23,0	17,5	40,6
14	60,5	36,3	48,3	-49,1	22,5	17,2	39,7
15	57,7	33,6	47,0	-47,7	21,9	16,9	38,8
16	54,8	30,8	45,3	-46,1	21,1	16,6	37,8
17	51,7	28,0	43,4	-44,3	20,2	16,4	36,6
18	49,9	26,1	42,6	-43,8	19,8	16,7	36,5
19	46,2	23,2	39,9	-41,4	18,6	16,4	35,1
20	42,2	20,3	37,0	-38,7	17,2	16,2	33,5
21	38,1	17,6	33,8	-35,6	15,8	16,0	31,8
22	33,8	14,9	30,3	-32,1	14,1	15,8	30,0
23	29,3	12,3	26,6	-28,2	12,4	15,7	28,1
24	24,7	9,9	22,6	-23,8	10,5	15,5	26,0
25	19,8	7,5	18,2	-18,9	8,5	15,4	23,9
26	14,9	4,9	12,8	-12,8	6,0	15,2	21,2
27	9,7	2,5	6,9	-6,1	3,2	15,1	18,4
28	5,2	0,8	2,5	-0,8	1,2	14,4	15,5
29	1,7	0,3	0,8	1,8	0,4	14,3	14,7
Итого:	1165,2	712,7			417,2	533,3	950,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{\text{акт } i},$ кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i},$ кН*м /м
0	91,8	663,6	0,0	663,6
1	263,6	629,0	0,0	629,0
2	577,7	944,6	0,0	944,6
3	817,7	1070,9	0,0	1070,9
4	1026,3	1172,1	0,0	1172,1
5	921,9	972,6	0,0	972,6
6	1003,7	1010,5	0,0	1010,5
7	1075,3	1045,7	0,0	1045,7
8	949,6	901,7	0,0	901,7
9	993,0	927,8	0,0	927,8
10	1224,1	1153,1	0,0	1153,1
11	1246,8	1211,5	0,0	1211,5
12	1173,6	1182,4	0,0	1182,4
13	1098,2	1154,4	0,0	1154,4
14	1021,3	1127,0	0,0	1127,0
15	943,6	1099,5	0,0	1099,5
16	865,5	1071,0	0,0	1071,0
17	787,6	1041,1	0,0	1041,1
18	732,7	1041,9	0,0	1041,9
19	651,4	1004,4	0,0	1004,4
20	571,8	962,9	0,0	962,9
21	494,2	916,9	0,0	916,9
22	419,1	866,0	0,0	866,0
23	346,8	809,8	0,0	809,8
24	277,8	748,3	0,0	748,3
25	211,0	680,0	0,0	680,0
26	138,8	595,4	0,0	595,4

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i} тр./сцепл., кН*м /м	M _{реакт i} арм., кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
27	70,7	504,8	0,0	504,8
28	23,5	415,6	0,0	415,6
29	7,2	401,8	0,0	401,8
Итого:	20026,1	27326,3	0,0	27326,3

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i} тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i} арм.	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 27326,3 / 20026,1 = 1,365$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Morgenstern-Price. Таблица сил

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i} тр./сцеп., кН/м	F _{x реакт i} арм., кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
0	-16,8	12,0	0,0	12,0
1	-0,9	12,0	0,0	12,0
2	10,6	19,0	0,0	19,0
3	20,6	22,7	0,0	22,7
4	28,0	26,1	0,0	26,1
5	25,8	22,5	0,0	22,5
6	28,2	24,1	0,0	24,1
7	30,3	25,6	0,0	25,6
8	26,8	22,6	0,0	22,6
9	28,0	23,7	0,0	23,7
10	34,5	30,1	0,0	30,1
11	35,1	32,4	0,0	32,4
12	33,2	32,3	0,0	32,3
13	31,3	32,2	0,0	32,2
14	29,5	32,1	0,0	32,1
15	27,7	31,8	0,0	31,8
16	25,9	31,5	0,0	31,5
17	24,0	31,1	0,0	31,1
18	22,9	31,6	0,0	31,6
19	20,8	30,9	0,0	30,9
20	18,7	30,0	0,0	30,0
21	16,4	28,9	0,0	28,9
22	14,2	27,7	0,0	27,7
23	11,9	26,1	0,0	26,1
24	9,6	24,4	0,0	24,4
25	7,2	22,4	0,0	22,4

i	$F_{x \text{ акт } i}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i}$, кН/м
26	4,6	19,8	0,0	19,8
27	2,1	16,9	0,0	16,9
28	0,3	14,0	0,0	14,0
29	-0,5	13,6	0,0	13,6
Итого:	549,9	750,4	0,0	750,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 750,4 / 549,9 = 1,365$$

4.6 Геомеханический расчет по профильной линии 6-6

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$X_c = 153,71$ м, $Y_c = 176,72$ м

Радиус поверхности скольжения:

$R = 137,35$ м

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

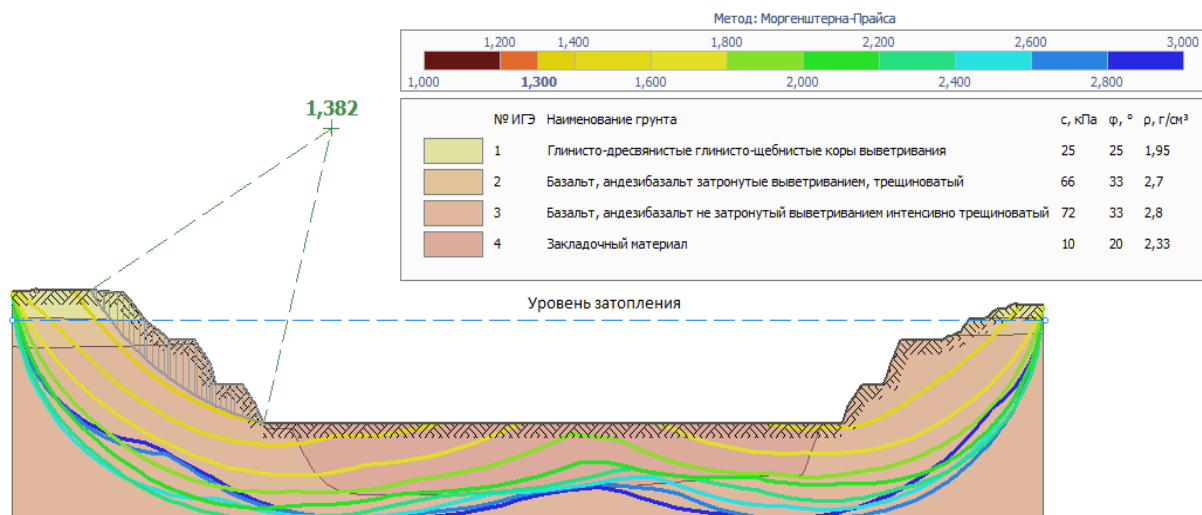
Метод расчета: Метод Моргенштерна-Прайса

Коэффициент устойчивости: 1,382

Площадь призмы: 1253,12 м²

Число элементарных призм: 36

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\operatorname{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	1,9	25,0	25,0	0,466	3,21	2,40	-57,1
1	2,0	25,0	25,0	0,466	2,02	3,89	-56,0
2	1,9	25,0	25,0	0,466	5,59	19,76	-54,4
3	2,0	25,0	25,0	0,466	0,91	4,58	-53,0
4	2,0	25,0	25,0	0,466	3,63	22,78	-52,1
5	2,0	53,9	29,0	0,555	6,31	56,31	-50,0
6	2,2	59,4	29,7	0,570	4,52	54,17	-47,8
7	2,3	59,4	29,7	0,570	3,67	49,16	-46,1
8	2,4	60,8	29,7	0,570	3,46	46,45	-44,6
9	2,5	64,8	29,7	0,570	3,38	45,27	-43,1
10	2,6	64,8	29,7	0,570	3,30	43,81	-41,7
11	2,7	64,8	29,7	0,570	1,82	24,19	-40,7
12	2,7	64,8	29,7	0,570	3,66	49,80	-39,5
13	2,8	64,8	29,7	0,570	3,58	50,02	-38,0
14	2,8	64,8	29,7	0,570	3,51	49,91	-36,5
15	2,8	64,8	29,7	0,570	2,10	30,16	-35,4
16	2,8	64,8	29,7	0,570	1,32	18,98	-34,7
17	2,8	64,8	29,7	0,570	3,44	52,73	-33,7
18	2,8	64,8	29,7	0,570	3,49	59,81	-32,2
19	2,8	64,8	29,7	0,570	3,43	65,15	-30,8
20	2,8	64,8	29,7	0,570	3,38	70,19	-29,4
21	2,8	64,8	29,7	0,570	1,18	24,98	-28,4
22	2,8	64,8	29,7	0,570	2,49	50,05	-27,6
23	2,8	64,8	29,7	0,570	2,46	45,64	-26,6
24	2,8	64,8	29,7	0,570	1,74	29,69	-25,7
25	2,8	64,8	29,7	0,570	1,41	21,33	-25,1
26	2,8	64,8	29,7	0,570	1,90	21,48	-24,4
27	2,8	64,8	29,7	0,570	2,75	25,52	-23,4
28	2,8	64,8	29,7	0,570	2,73	28,20	-22,3
29	2,8	64,8	29,7	0,570	2,70	30,74	-21,1
30	2,8	64,8	29,7	0,570	1,67	20,28	-20,2
31	2,8	64,8	29,7	0,570	3,93	51,54	-19,1

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\operatorname{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
32	2,8	64,8	29,7	0,570	3,48	41,89	-17,5
33	2,8	64,8	29,7	0,570	3,45	29,18	-16,1
34	2,8	64,8	29,7	0,570	0,39	2,50	-15,3
35	2,8	64,8	29,7	0,570	3,45	10,56	-14,5
Итого:					105,47	1253,12	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
ϕ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\phi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	45,9	38,6	25,0	5,2	11,6	80,3	91,9
1	74,3	61,6	41,6	-53,8	19,4	50,6	70,0
2	378,0	307,4	220,1	-331,2	102,6	139,7	242,4
3	87,7	70,1	52,7	-65,3	24,6	22,7	47,3
4	435,9	343,9	267,8	-390,0	124,9	90,8	215,7
5	1126,5	814,5	683,1	-822,5	379,3	340,6	719,9
6	1160,7	735,8	668,2	-719,7	381,1	268,3	649,4
7	1099,2	636,9	614,0	-635,4	350,2	217,9	568,1
8	1086,8	574,0	582,8	-581,7	332,4	210,3	542,7
9	1109,9	536,0	572,0	-552,0	326,3	218,8	545,0
10	1126,9	497,0	556,9	-525,7	317,7	214,0	531,6
11	643,6	266,4	309,9	-270,0	176,8	118,0	294,8
12	1340,5	542,4	657,1	-641,1	374,8	237,1	611,9
13	1353,1	531,2	679,3	-637,0	387,5	232,1	619,6
14	1356,4	516,1	696,3	-658,1	397,2	227,6	624,8
15	822,6	304,9	429,5	-400,0	245,0	136,3	381,3

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
16	519,0	189,2	273,7	-260,6	156,1	85,5	241,7
17	1443,1	513,2	770,6	-761,6	439,5	223,2	662,8
18	1638,0	560,4	889,3	-878,2	507,3	226,0	733,2
19	1784,8	586,2	984,3	-986,4	561,4	222,5	783,9
20	1923,5	605,3	1076,4	-1094,4	613,9	219,3	833,3
21	685,4	209,4	387,3	-420,2	220,9	76,1	297,1
22	1374,9	410,0	783,0	-802,9	446,6	161,1	607,8
23	1253,7	360,9	720,6	-766,1	411,0	159,7	570,7
24	815,5	227,6	472,3	-523,0	269,4	112,7	382,1
25	585,9	159,6	341,2	-382,4	194,6	91,3	285,9
26	589,9	156,5	345,4	-386,9	197,0	123,2	320,3
27	701,1	179,1	413,6	-473,6	235,9	178,1	414,0
28	774,7	188,7	460,9	-539,1	262,9	176,6	439,5
29	844,2	195,7	506,2	-582,1	288,7	175,2	464,0
30	557,1	123,8	336,1	-400,5	191,7	108,1	299,8
31	1415,8	297,2	860,3	-909,4	490,7	254,4	745,1
32	1150,6	222,6	705,4	-768,1	402,4	225,2	627,6
33	801,5	142,6	495,1	-519,2	282,4	223,5	505,9
34	68,7	11,6	42,6	-58,6	24,3	25,5	49,8
35	290,1	46,6	180,6	-155,6	103,0	223,8	326,8
Итого:	32465,3	12163,4			10251,1	6096,2	16347,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица моментов

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i тр./сцепл.} , кН*м /м	M _{реакт i арм.} , кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
0	5296,3	11024,8	0,0	11024,8
1	8463,0	10396,1	0,0	10396,1
2	42206,0	40394,5	0,0	40394,5
3	9621,4	7298,2	0,0	7298,2
4	47228,0	37451,0	0,0	37451,0
5	111904,1	109486,1	0,0	109486,1
6	101049,7	93213,5	0,0	93213,5
7	87468,5	79698,0	0,0	79698,0
8	78828,4	74447,3	0,0	74447,3
9	73610,4	73284,8	0,0	73284,8
10	68257,8	70562,8	0,0	70562,8
11	36589,0	37355,1	0,0	37355,1
12	74486,0	82780,5	0,0	82780,5
13	72952,5	81775,7	0,0	81775,7
14	70876,8	82811,3	0,0	82811,3
15	41879,3	50052,8	0,0	50052,8
16	25988,8	32163,0	0,0	32163,0
17	70487,1	90317,3	0,0	90317,3
18	76968,9	99828,0	0,0	99828,0
19	80506,3	107831,2	0,0	107831,2
20	83135,5	115851,7	0,0	115851,7
21	28765,7	43377,5	0,0	43377,5
22	56311,2	85030,9	0,0	85030,9
23	49571,2	81940,2	0,0	81940,2
24	31257,8	56448,8	0,0	56448,8
25	21921,3	42505,7	0,0	42505,7
26	21500,5	47232,1	0,0	47232,1
27	24594,6	61562,5	0,0	61562,5
28	25920,6	66487,2	0,0	66487,2
29	26879,0	69666,2	0,0	69666,2
30	17006,5	46217,9	0,0	46217,9
31	40815,6	106172,7	0,0	106172,7
32	30572,9	91100,3	0,0	91100,3
33	19588,9	71366,2	0,0	71366,2
34	1598,2	8093,0	0,0	8093,0
35	6398,3	42927,4	0,0	42927,4
Итого:	1670506,7	2308152,2	0,0	2308152,2

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i тр./сцепл.}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i арм.}	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 2308152,2 / 1670506,7 = 1,382$$

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Morgenstern-Price. Таблица сил**

i	F _{x акт i} , кН/м	F _{x реакт i тр./сцеп.} , кН/м	F _{x реакт i арм.} , кН/м	F _{x реакт i} , кН/м
0	-4,4	43,6	0,0	43,6
1	44,6	42,3	0,0	42,3
2	269,3	171,3	0,0	171,3
3	52,2	32,0	0,0	32,0
4	307,7	167,5	0,0	167,5
5	630,3	512,4	0,0	512,4
6	532,8	456,3	0,0	456,3
7	457,5	402,8	0,0	402,8
8	408,2	386,2	0,0	386,2
9	377,4	389,4	0,0	389,4
10	350,0	383,3	0,0	383,3
11	176,0	206,3	0,0	206,3
12	408,1	464,9	0,0	464,9
13	392,4	469,1	0,0	469,1
14	391,9	484,4	0,0	484,4
15	231,5	297,2	0,0	297,2
16	148,2	192,6	0,0	192,6
17	422,2	547,3	0,0	547,3
18	468,2	615,0	0,0	615,0
19	504,7	674,6	0,0	674,6
20	536,5	735,3	0,0	735,3
21	199,9	277,8	0,0	277,8
22	372,5	548,5	0,0	548,5
23	343,1	533,4	0,0	533,4
24	227,0	370,3	0,0	370,3
25	162,1	280,3	0,0	280,3
26	159,7	313,2	0,0	313,2
27	188,2	411,3	0,0	411,3
28	204,3	448,0	0,0	448,0
29	209,9	473,1	0,0	473,1
30	138,5	315,8	0,0	315,8
31	297,0	730,7	0,0	730,7
32	231,2	632,6	0,0	632,6
33	143,7	499,3	0,0	499,3
34	15,4	56,8	0,0	56,8
35	38,9	302,7	0,0	302,7
Итого:	10036,6	13867,6	0,0	13867,6

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
F _{x акт i}	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
F _{x реакт i} тр./сцеп.	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека

$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 13867,6 / 10036,6 = 1,382$$

4.7 Геомеханический расчет по профильной линии 7-7

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 94,02 \text{ м}, \quad Y_c = 137,91 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 79,35 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

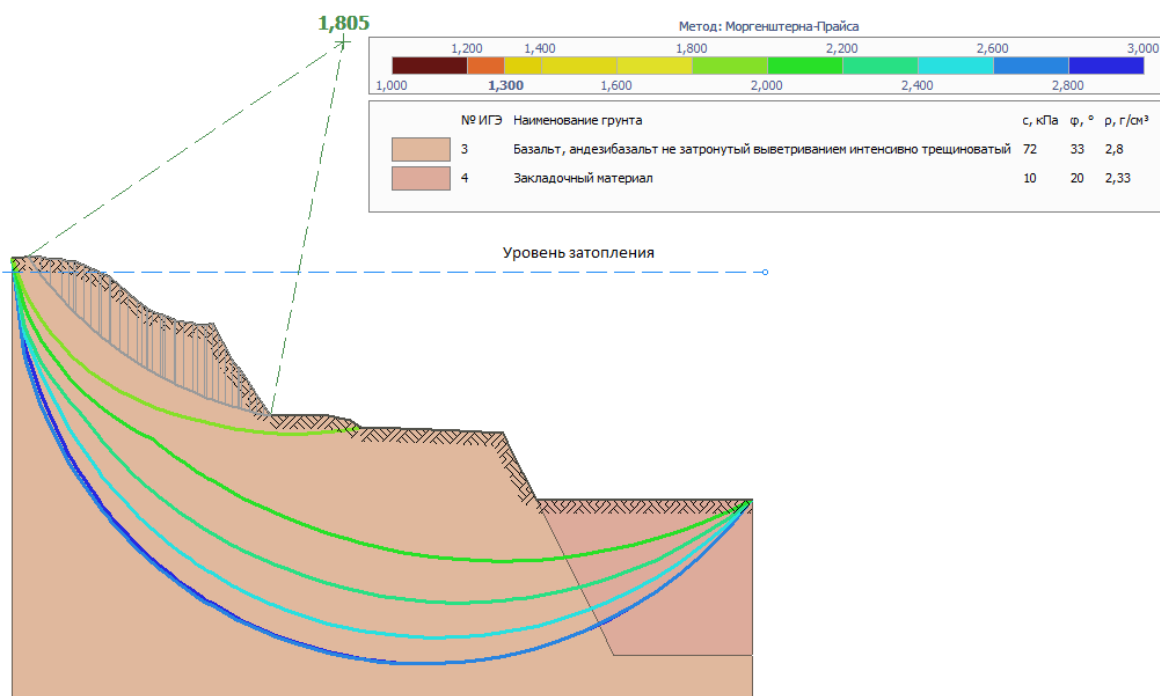
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,805

Площадь призмы: 528,22 м²

Число элементарных призм: 41

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	2,8	72,0	33,0	0,649	0,65	0,11	-55,5
1	2,8	70,6	32,4	0,634	4,21	5,30	-53,8
2	2,8	64,8	29,7	0,570	2,84	8,22	-51,2
3	2,8	64,8	29,7	0,570	3,58	16,13	-48,9
4	2,8	64,8	29,7	0,570	2,42	14,52	-46,7
5	2,8	64,8	29,7	0,570	1,18	8,11	-45,4
6	2,8	64,8	29,7	0,570	0,75	5,58	-44,8
7	2,8	64,8	29,7	0,570	2,18	17,67	-43,7
8	2,8	64,8	29,7	0,570	2,12	18,85	-42,1
9	2,8	64,8	29,7	0,570	2,07	19,91	-40,6
10	2,8	64,8	29,7	0,570	0,90	9,13	-39,6
11	2,8	64,8	29,7	0,570	1,88	19,89	-38,6
12	2,8	64,8	29,7	0,570	0,53	5,75	-37,7
13	2,8	64,8	29,7	0,570	2,17	23,68	-36,7
14	2,8	64,8	29,7	0,570	2,12	23,26	-35,2
15	2,8	64,8	29,7	0,570	2,47	26,83	-33,5
16	2,8	64,8	29,7	0,570	1,06	11,46	-32,2
17	2,8	64,8	29,7	0,570	1,03	11,06	-31,5
18	2,8	64,8	29,7	0,570	0,47	5,04	-30,9
19	2,8	64,8	29,7	0,570	0,96	10,33	-30,4
20	2,8	64,8	29,7	0,570	2,15	23,76	-29,3
21	2,8	64,8	29,7	0,570	0,28	3,19	-28,4
22	2,8	64,8	29,7	0,570	0,74	8,47	-28,0
23	2,8	64,8	29,7	0,570	2,02	23,68	-27,0
24	2,8	64,8	29,7	0,570	0,42	5,04	-26,2
25	2,8	64,8	29,7	0,570	1,73	21,15	-25,4
26	2,8	64,8	29,7	0,570	2,12	27,24	-24,0
27	2,8	64,8	29,7	0,570	1,20	15,90	-22,8
28	2,8	64,8	29,7	0,570	1,56	21,19	-21,8
29	2,8	64,8	29,7	0,570	0,49	6,89	-21,1
30	2,8	64,8	29,7	0,570	1,11	16,13	-20,5
31	2,8	64,8	29,7	0,570	1,50	20,98	-19,5
32	2,8	64,8	29,7	0,570	1,49	18,08	-18,5
33	2,8	64,8	29,7	0,570	1,48	15,13	-17,4
34	2,8	64,8	29,7	0,570	1,16	10,04	-16,4
35	2,8	64,8	29,7	0,570	0,26	2,10	-15,9
36	2,8	64,8	29,7	0,570	0,64	4,95	-15,6
37	2,8	64,8	29,7	0,570	1,55	10,20	-14,8
38	2,8	64,8	29,7	0,570	1,54	7,34	-13,7
39	2,8	64,8	29,7	0,570	1,53	4,44	-12,6
40	2,8	64,8	29,7	0,570	1,53	1,49	-11,5
Итого:					62,11	528,22	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
---	---	--

ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg}\varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	3,1	2,6	1,8	31,3	1,1	46,8	48,0
1	145,5	116,1	85,0	-26,7	53,9	297,1	351,0
2	225,9	152,1	122,1	-138,1	69,7	184,2	253,8
3	443,0	260,5	227,2	-270,0	129,6	231,7	361,3
4	398,8	213,9	201,3	-234,1	114,8	157,1	271,9
5	222,9	113,9	112,1	-127,6	64,0	76,6	140,5
6	153,2	77,0	77,7	-87,6	44,3	48,3	92,6
7	485,3	234,5	245,4	-271,0	140,0	141,0	281,0
8	517,8	234,4	259,0	-277,1	147,7	137,5	285,2
9	547,0	232,5	271,0	-282,6	154,6	134,3	288,9
10	250,7	102,6	124,2	-127,7	70,9	58,5	129,4
11	546,4	218,9	274,7	-279,6	156,7	121,8	278,5
12	158,0	62,1	80,4	-81,1	45,8	34,2	80,0
13	650,4	249,9	335,2	-335,6	191,2	140,4	331,6
14	639,0	236,5	335,8	-333,4	191,6	137,7	329,2
15	736,9	261,5	395,0	-391,3	225,3	159,8	385,1
16	314,8	107,9	171,2	-169,9	97,6	68,9	166,6
17	303,7	101,9	166,5	-165,7	95,0	67,0	162,0
18	138,5	45,7	76,4	-76,2	43,6	30,6	74,2
19	283,7	92,3	157,3	-157,4	89,7	62,1	151,8
20	652,6	205,2	365,9	-368,6	208,7	139,3	348,0
21	87,7	26,8	49,6	-50,2	28,3	18,3	46,6
22	232,8	70,3	132,1	-134,1	75,3	47,9	123,2
23	650,4	190,1	372,4	-380,8	212,4	131,1	343,5
24	138,4	39,2	79,8	-82,1	45,5	27,4	73,0
25	581,0	160,1	337,5	-348,7	192,5	111,9	304,4
26	748,1	195,6	439,4	-457,1	250,6	137,3	387,9
27	436,7	108,8	258,8	-270,6	147,6	77,9	225,5
28	582,1	138,9	347,4	-364,3	198,2	101,1	299,3
29	189,2	43,7	113,5	-119,1	64,7	31,9	96,6
30	443,1	99,6	266,8	-279,7	152,2	72,1	224,3
31	576,4	123,9	349,2	-366,7	199,2	97,2	296,4
32	496,6	101,1	302,8	-319,3	172,7	96,6	269,3
33	415,6	79,8	255,0	-269,4	145,4	96,0	241,4

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
34	275,8	50,1	170,0	-179,3	97,0	75,3	172,3
35	57,7	10,2	35,7	-37,5	20,4	17,0	37,4
36	136,0	23,5	84,2	-88,1	48,1	41,5	89,6
37	280,1	46,0	174,1	-180,2	99,3	100,2	199,5
38	201,6	30,7	125,9	-127,1	71,8	99,7	171,6
39	121,8	17,0	76,4	-72,8	43,6	99,3	142,9
40	40,8	5,2	25,7	-17,7	14,7	98,9	113,6
Итого:	14509,1	4882,9			4615,3	4053,7	8669,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Morgenштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{\text{акт } i}$, кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i}$, кН*м /м
0	203,1	3715,9	0,0	3715,9
1	9209,7	24910,2	0,0	24910,2
2	12064,3	20860,9	0,0	20860,9
3	20667,2	30593,7	0,0	30593,7
4	16973,2	23056,3	0,0	23056,3
5	9036,3	11850,6	0,0	11850,6
6	6108,6	7801,2	0,0	7801,2
7	18600,9	23448,8	0,0	23448,8
8	18596,1	23448,9	0,0	23448,9
9	18450,1	23447,6	0,0	23447,6
10	8142,7	10422,1	0,0	10422,1
11	17369,6	22314,7	0,0	22314,7
12	4925,8	6383,9	0,0	6383,9
13	19829,9	26328,5	0,0	26328,5
14	18766,8	26013,7	0,0	26013,7

i	M _{акт i} , кН*м/м	M _{реакт i} тр./сцепл., кН*м /м	M _{реакт i} арм., кН*м /м	M _{реакт i} , кН*м /м
15	20745,8	30384,3	0,0	30384,3
16	8562,5	13155,9	0,0	13155,9
17	8087,8	12816,7	0,0	12816,7
18	3630,0	5879,2	0,0	5879,2
19	7324,4	12045,4	0,0	12045,4
20	16281,6	27733,1	0,0	27733,1
21	2128,3	3729,1	0,0	3729,1
22	5581,5	9870,6	0,0	9870,6
23	15082,2	27633,1	0,0	27633,1
24	3111,8	5894,2	0,0	5894,2
25	12703,7	24658,8	0,0	24658,8
26	15516,3	31581,3	0,0	31581,3
27	8628,6	18431,2	0,0	18431,2
28	11024,1	24509,6	0,0	24509,6
29	3466,9	7918,3	0,0	7918,3
30	7906,1	18377,8	0,0	18377,8
31	9830,1	24304,8	0,0	24304,8
32	8017,6	22111,9	0,0	22111,9
33	6332,7	19807,7	0,0	19807,7
34	3977,5	14089,9	0,0	14089,9
35	807,2	3046,1	0,0	3046,1
36	1864,5	7281,6	0,0	7281,6
37	3648,8	16109,6	0,0	16109,6
38	2432,3	13667,4	0,0	13667,4
39	1352,8	11171,2	0,0	11171,2
40	414,0	8645,3	0,0	8645,3
Итого:	387403,3	699451,4	0,0	699451,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
M _{акт i}	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
M _{реакт i} тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
M _{реакт i} арм.	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
M _{реакт i}	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{\text{реакт } i} / \Sigma M_{\text{акт } i}$$

$$K_y = 699451,4 / 387403,3 = 1,805$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица сил

i	F _{х акт i} , кН/м	F _{х реакт i} тр./сцеп., кН/м	F _{х реакт i} арм., кН/м	F _{х реакт i} , кН/м
0	-25,8	26,5	0,0	26,5
1	21,6	185,6	0,0	185,6
2	107,7	164,7	0,0	164,7
3	203,5	253,5	0,0	253,5

i	$F_{x \text{ акт } i}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$, кН/м	$F_{x \text{ реакт } i}$, кН/м
4	170,5	199,1	0,0	199,1
5	90,9	104,8	0,0	104,8
6	61,7	69,8	0,0	69,8
7	187,2	213,7	0,0	213,7
8	186,0	219,1	0,0	219,1
9	184,0	224,3	0,0	224,3
10	81,3	101,3	0,0	101,3
11	174,2	220,0	0,0	220,0
12	49,6	63,7	0,0	63,7
13	200,6	266,0	0,0	266,0
14	192,0	268,1	0,0	268,1
15	216,0	319,4	0,0	319,4
16	90,6	140,3	0,0	140,3
17	86,5	137,8	0,0	137,8
18	39,2	63,6	0,0	63,6
19	79,7	130,9	0,0	130,9
20	180,3	304,9	0,0	304,9
21	23,9	41,3	0,0	41,3
22	63,1	109,8	0,0	109,8
23	173,1	310,2	0,0	310,2
24	36,2	66,7	0,0	66,7
25	149,5	280,8	0,0	280,8
26	185,9	363,7	0,0	363,7
27	104,8	214,2	0,0	214,2
28	135,3	286,8	0,0	286,8
29	42,8	93,1	0,0	93,1
30	97,8	217,0	0,0	217,0
31	122,6	288,7	0,0	288,7
32	101,1	264,4	0,0	264,4
33	80,5	238,3	0,0	238,3
34	50,7	170,3	0,0	170,3
35	10,3	36,9	0,0	36,9
36	23,7	88,4	0,0	88,4
37	46,0	196,3	0,0	196,3
38	30,1	167,4	0,0	167,4
39	15,8	137,4	0,0	137,4
40	3,5	106,8	0,0	106,8
Итого:	4073,8	7355,3	0,0	7355,3

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i \text{ тр./сцеп.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 7355,3 / 4073,8 = 1,805$$

4.8 Геомеханический расчет по профильной линии 8-8

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения:

$$X_c = 71,10 \text{ м}, \quad Y_c = 161,72 \text{ м}$$

Радиус поверхности скольжения:

$$R = 126,67 \text{ м}$$

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,30

Результаты расчета:

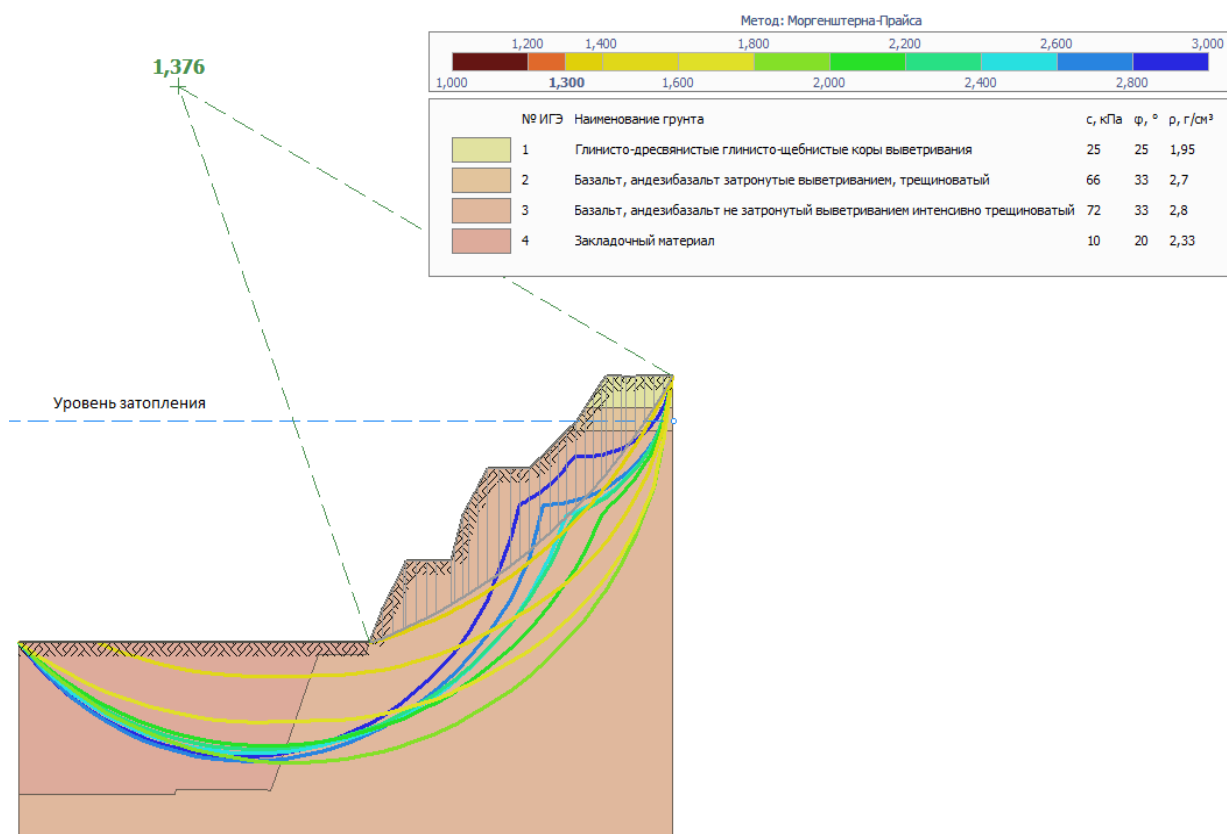
Метод расчета: Метод Morgenstern-Price

Коэффициент устойчивости: 1,376

Площадь призмы: 1021,66 м²

Число элементарных призм: 34

Сдвиг призмы: справа налево



Базовые свойства отсеков призмы

i	ρ_i , г/см ³	c_i , кПа	φ_i , град	$\operatorname{tg}\varphi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	2,8	72,0	33,0	0,649	2,89	8,80	20,4
1	2,8	72,0	33,0	0,649	2,55	19,48	21,6
2	2,8	72,0	33,0	0,649	2,57	27,59	22,8
3	2,8	72,0	33,0	0,649	0,70	8,88	23,5
4	2,8	72,0	33,0	0,649	2,61	32,73	24,3
5	2,8	72,0	33,0	0,649	2,64	30,10	25,5
6	2,8	72,0	33,0	0,649	2,13	22,04	26,5
7	2,8	72,0	33,0	0,649	3,81	34,43	27,9
8	2,8	72,0	33,0	0,649	0,95	8,88	29,0
9	2,8	72,0	33,0	0,649	2,28	29,59	29,7
10	2,8	72,0	33,0	0,649	1,38	22,10	30,5
11	2,8	72,0	33,0	0,649	2,48	43,65	31,4
12	2,8	72,0	33,0	0,649	2,51	49,04	32,5
13	2,8	72,0	33,0	0,649	3,09	60,46	33,8
14	2,8	72,0	33,0	0,649	3,14	55,92	35,2
15	2,8	72,0	33,0	0,649	2,60	41,91	36,5
16	2,8	72,0	33,0	0,649	2,64	38,62	37,7
17	2,8	72,0	33,0	0,649	3,03	41,94	39,0
18	2,8	72,0	33,0	0,649	3,09	42,31	40,4
19	2,8	72,0	33,0	0,649	2,47	33,51	41,6
20	2,8	72,0	33,0	0,649	2,52	33,79	42,7
21	2,8	72,0	33,0	0,649	2,74	36,15	43,9
22	2,8	72,0	33,0	0,649	2,94	39,03	45,2
23	2,7	72,0	33,0	0,649	2,76	37,46	46,5
24	2,6	72,0	33,0	0,649	2,83	38,84	47,8
25	2,5	72,0	33,0	0,649	1,29	17,83	48,7
26	2,5	72,0	33,0	0,649	2,67	34,61	49,6
27	2,5	72,0	33,0	0,649	2,74	30,99	50,8
28	2,4	72,0	33,0	0,649	1,90	18,82	51,9
29	2,4	72,0	33,0	0,649	3,27	27,53	53,0
30	2,3	68,3	33,0	0,649	3,56	23,25	54,6
31	2,1	66,0	33,0	0,649	3,71	17,14	56,2
32	2,0	26,2	25,3	0,472	3,89	10,61	58,0
33	1,9	25,0	25,0	0,466	4,10	3,62	59,8
Итого:					90,52	1021,66	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
ρ_i	г/см ³	осредненное значение плотности грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
φ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\varphi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	241,8	-54,2	145,7	-93,2	94,6	208,4	303,0
1	535,1	-126,8	319,7	-298,7	207,6	183,7	391,3
2	757,8	-188,7	449,2	-449,9	291,7	185,2	476,9
3	244,0	-62,6	143,8	-179,6	93,4	50,5	143,9
4	899,0	-237,7	526,8	-525,3	342,1	188,2	530,3
5	826,7	-228,5	479,8	-528,1	311,6	190,0	501,6
6	605,3	-173,9	348,1	-409,1	226,1	153,0	379,1
7	945,7	-284,4	537,4	-594,3	349,0	274,3	623,3
8	244,0	-76,0	137,2	-230,8	89,1	68,2	157,3
9	812,7	-258,8	453,8	-482,6	294,7	164,3	459,0
10	607,0	-198,2	336,2	-387,3	218,3	99,7	318,0
11	1199,1	-401,6	658,0	-688,8	427,3	178,8	606,0
12	1346,9	-465,6	730,0	-771,7	474,1	181,0	655,1
13	1660,7	-593,8	887,2	-917,3	576,1	222,6	798,7
14	1536,1	-569,3	806,8	-831,1	524,0	226,4	750,3
15	1151,2	-440,3	594,9	-607,6	386,3	186,9	573,2
16	1060,8	-416,9	539,7	-541,6	350,5	189,8	540,3
17	1151,9	-465,7	575,8	-570,4	373,9	218,1	592,0
18	1162,1	-483,7	569,3	-556,2	369,7	222,5	592,2
19	920,5	-393,0	442,4	-423,8	287,3	178,2	465,5
20	928,2	-405,0	438,2	-421,1	284,6	181,4	466,0
21	991,1	-441,6	458,4	-441,5	297,7	197,0	494,7
22	1065,2	-503,5	499,8	-485,8	324,6	211,8	536,3
23	997,8	-514,5	488,2	-480,9	317,0	198,9	516,0
24	991,9	-549,2	498,5	-506,3	323,7	203,7	527,5
25	442,1	-257,4	226,1	-222,2	146,8	93,2	240,0
26	845,4	-509,5	433,6	-470,7	281,6	192,5	474,1
27	746,2	-469,2	382,3	-414,6	248,3	197,5	445,8
28	446,2	-292,3	229,5	-249,4	149,0	136,8	285,8
29	637,8	-441,3	332,0	-375,3	215,6	235,7	451,3
30	515,3	-392,4	279,0	-315,4	181,2	243,3	424,5
31	352,6	-293,0	195,9	-205,8	127,2	245,1	372,4
32	203,0	-172,1	107,7	-153,4	50,8	102,1	152,9
33	69,3	-59,9	34,9	-12,7	16,3	102,5	118,8
Итого:	27140,7	- 11420,4			9251,9	6110,9	15362,9

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия

		между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

**Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Моргенштерна-Прайса. Таблица моментов**

i	$M_{\text{акт } i},$ кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}},$ кН*м /м	$M_{\text{реакт } i},$ кН*м /м
0	6864,1	34062,1	0,0	34062,1
1	16060,8	47834,1	0,0	47834,1
2	23903,1	60465,3	0,0	60465,3
3	7933,3	21175,7	0,0	21175,7
4	30101,3	67043,8	0,0	67043,8
5	28946,6	67503,9	0,0	67503,9
6	22027,2	53030,6	0,0	53030,6
7	36018,5	83628,3	0,0	83628,3
8	9620,8	27624,1	0,0	27624,1
9	32780,2	60502,7	0,0	60502,7
10	25105,3	44487,8	0,0	44487,8
11	50866,8	79300,0	0,0	79300,0
12	58973,7	86395,8	0,0	86395,8
13	75213,5	103642,2	0,0	103642,2
14	72106,7	97033,8	0,0	97033,8
15	55763,8	73645,3	0,0	73645,3
16	52807,6	68585,6	0,0	68585,6
17	58986,8	74536,4	0,0	74536,4
18	61264,1	73927,6	0,0	73927,6
19	49773,4	57425,5	0,0	57425,5
20	51292,0	57610,5	0,0	57610,5
21	55929,2	61268,5	0,0	61268,5
22	63840,3	66783,4	0,0	66783,4
23	65167,2	64754,0	0,0	64754,0
24	69556,2	67448,3	0,0	67448,3
25	32598,1	30082,2	0,0	30082,2
26	64530,4	63103,1	0,0	63103,1
27	59427,0	59116,8	0,0	59116,8
28	37030,1	37846,0	0,0	37846,0
29	55894,1	60724,7	0,0	60724,7
30	49705,4	56759,0	0,0	56759,0
31	37112,5	47979,9	0,0	47979,9
32	21798,1	22094,4	0,0	22094,4
33	7580,4	13728,1	0,0	13728,1
Итого:	1446578,6	1991149,5	0,0	1991149,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
---	---	--

$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i}$ тр./сцепл.	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 1991149,5 / 1446578,6 = 1,376$$

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Morgenstern-Price. Таблица сил

i	$F_{х\ акт\ i},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i\ тр./сцеп.},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i\ арм.},$ кН/м	$F_{х\ реакт\ i},$ кН/м
0	32,5	252,1	0,0	252,1
1	110,1	351,1	0,0	351,1
2	174,3	440,1	0,0	440,1
3	71,7	153,3	0,0	153,3
4	216,0	482,5	0,0	482,5
5	227,1	481,2	0,0	481,2
6	182,8	374,5	0,0	374,5
7	278,0	583,6	0,0	583,6
8	111,8	190,8	0,0	190,8
9	239,1	414,9	0,0	414,9
10	196,7	302,5	0,0	302,5
11	358,9	534,4	0,0	534,4
12	414,9	575,1	0,0	575,1
13	510,3	680,0	0,0	680,0
14	479,2	626,0	0,0	626,0
15	361,5	467,4	0,0	467,4
16	331,1	428,5	0,0	428,5
17	358,7	457,5	0,0	457,5
18	360,1	444,8	0,0	444,8
19	281,4	339,0	0,0	339,0
20	285,8	334,0	0,0	334,0
21	306,3	348,4	0,0	348,4
22	344,8	371,4	0,0	371,4
23	348,8	351,9	0,0	351,9
24	374,9	357,9	0,0	357,9
25	167,0	156,7	0,0	156,7
26	358,5	322,9	0,0	322,9
27	321,4	294,8	0,0	294,8
28	196,2	184,5	0,0	184,5
29	299,9	288,2	0,0	288,2
30	257,0	259,7	0,0	259,7
31	171,1	210,5	0,0	210,5
32	130,0	92,6	0,0	92,6
33	10,9	54,6	0,0	54,6
Итого:	8868,8	12207,5	0,0	12207,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
---	---	--

$F_{x \text{ акт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция к основанию i-го отсека равнодействующей внешних сил.
$F_{x \text{ реакт } i}$ тр./сцеп.	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил трения и сцепления i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i \text{ арм.}}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей сил от армирующих элементов i-го отсека
$F_{x \text{ реакт } i}$	кН/м	горизонтальная проекция равнодействующей всех реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma F_{x \text{ реакт } i} / \Sigma F_{x \text{ акт } i}$$

$$K_y = 12207,5 / 8868,8 = 1,376$$

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных поверочных расчетов коэффициента запаса устойчивости, принятых параметров бортов и уступов карьеров Тимофеевского месторождения можно сделать следующие выводы:

Расчет оценки устойчивости откосов бортов карьеров и их элементов Тимофеевского месторождения проведены по 8 профилям и сведены в таблицу 5.1.

Расчетные коэффициенты запаса устойчивости бортов карьеров на конец ликвидации горной выемки, просчитанные методом алгебраическим сложением сил, находятся в пределах: от 1,346 до 1,805, при нормативном 1,3 для борта в целом.

Таблица 5.1 – Результаты поверочных расчетов устойчивости бортов и его элементов Тимофеевского месторождения

Профиль	Коэффициент запаса устойчивости нормативный	Коэффициент запаса устойчивости расчетный
1-1	1,3	1,364
2-2	1,3	1,384
3-3	1,3	1,346
4-4	1,3	1,397
5-5	1,3	1,365
6-6	1,3	1,382
7-7	1,3	1,805
8-8	1,3	1,376

Следовательно, устойчивость карьера для ликвидированной выемки полностью обеспечивается с достаточным запасом прочности.

На всех этапах эксплуатации месторождения, необходимо проводить мониторинг устойчивости откосов бортов карьеров, отвала.

Для объектов, находящихся в стадии ликвидации или уже ликвидированных, рекомендуется следующий режим наблюдений

- визуальный осмотр 1 раз в месяц, в аварийно опасный период (весна/осень 1 раз в 1-2 недели);
- инструментальные наблюдения по специальному графику;
- контроль уровня грунтовых вод 1 раз в месяц.

По результатам отработки месторождения, каждые 5 лет, на основе фактических горно-геологических данных необходимо производить переоценку геомеханической устойчивости проектных параметров откосов бортов карьеров, отвалов.

6 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.
2. ГОСТ 31436-2011. Породы горные и скальные для производства щебня для строительных работ.
3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология.
5. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах.
6. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии, Москва, УНИПРОМЕДЬ, 1989.
7. ВНТП 35-86 Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки, М., Минцветмет СССР, 1986.
8. Дополнение правил обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах в части локальной устойчивости высоких уступов. – С-Пб., ВНИМИ, 2010.
9. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л., ВНИМИ, 1972.
10. Методическое пособие по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами – Л., ВНИМИ, 1972.
11. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л., ВНИМИ, 1987.
12. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – С.-Пб., ВНИМИ, 1998.
13. Рекомендации по расчету устойчивости скальных откосов, Москва, 1986.
14. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М., «Недра», 1965.
15. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости, Л., 1987, 118с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ ПРОГРАММЫ GOESTAB

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р	
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ	
 Добровольная РСТ сертификация	СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
№ RA.RU.AB86.H01186	
Срок действия с 07.08.2019	по 06.08.2022
	№ 0351092
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ RA.RU.11AB86	
ООО ЦСПС. Орган по сертификации программной продукции в строительстве 125057 г. Москва, Ленинградский проспект, дом 63, тел. (499) 157-1990	
ПРОДУКЦИЯ для расчета устойчивости котлованов, откосов и склонов	Программа GeoStab КОД ОК 58.29.29.000 КОД ТН ВЭД
<i>обеспечение программное прикладное прочее на электронном носителе, серийный выпуск</i> СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ГОСТ 28195-89, разд. 2, п.2.1 (пп.1.1, 1.2, 2.1 - 2.3, 3.1 - 3.3, 6.1, 6.2); ГОСТ 28806-90, разд. 2, пп.13 - 16; ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93, разд. 4, пп.4.1 - 4.4; ГОСТ Р ИСО 9127-94, разд.6, пп.6.1.1, 6.3.1, 6.3.3, 6.5.1 - 6.5.3; ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000, разд. 3, пп.3.1.1, 3.1.3, 3.2.1 - 3.2.5	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ООО "ИнжПроектСтрой" ИНН 5902163884, Россия, 614000, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 34, оф. 108, тел. (342) 204-02-08 СЕРТИФИКАТ ВЫДАН ООО "ИнжПроектСтрой", Россия, 614000, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 34, оф. 108, тел. (342) 204-02-08 НА ОСНОВАНИИ Заключения ООО ЦСПС № 01-48-19 от 06 августа 2019 г. на 2-х страницах.	
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ 	Схема сертификации 3  подпись С.Д.Ратнер инициалы, фамилия  подпись Т.Н.Бубнова инициалы, фамилия
Руководитель органа Эксперт	
Сертификат не применяется при обязательной сертификации	

АО «СПЗ»/ОПН, Москва, 2018. - 68 - www.gost.ru 01-05-05/005 ФНЧ-РФ, тел. (495) 789-4742, www.gost.ru

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СРО АПК «АПК «МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ», РЕГ. № СРО-П-027-18092009 ОТ 24.01.2018 Г.

УТВЕРЖДЕНА
 приказом Федеральной службы
 по экологическому, технологическому
 и атомному надзору
 от 4 марта 2019 г. N 86

ВЫПИСКА ИЗ РЕЕСТРА ЧЛЕНОВ САМОРЕГУЛИРУЕМОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

«22» ноября 2021 г.

№ 003897

Саморегулируемая организация Ассоциация проектных компаний «Межрегиональная ассоциация проектировщиков»

(СРО АПК «МАП»)

Саморегулируемая организация, основанные на членстве лиц, осуществляющих подготовку
проектной документации

107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д.45, помещение 11, sro2009-map.ru,
info@sro2009.ru

Регистрационный номер в государственном реестре саморегулируемых организаций
СРО-П-027-18092009

выдана Обществу с ограниченной ответственностью «Научно-Технический Центр-
Геотехнология»

Наименование	Сведения
1. Сведения о члене саморегулируемой организации:	
1.1. Полное и (в случае, если имеется) сокращенное наименование юридического лица или фамилия, имя, (в случае, если имеется) отчество индивидуального предпринимателя	Общество с ограниченной ответственностью «Научно-Технический Центр-Геотехнология» (ООО «НТЦ-Геотехнология»)
1.2. Идентификационный номер налогоплательщика (ИНН)	7447075866
1.3. Основной государственный регистрационный номер (ОГРН) или основной государственный регистрационный номер индивидуального предпринимателя (ОГРНИП)	1047421520035
1.4. Адрес места нахождения юридического лица	620050, РОССИЯ, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Техническая, сооружение 18Б, офис 412
1.5. Место фактического осуществления деятельности (только для индивидуального предпринимателя)	---
2. Сведения о членстве индивидуального предпринимателя или юридического лица в саморегулируемой организации:	
2.1. Регистрационный номер члена в реестре членов саморегулируемой организации	267
2.2. Дата регистрации юридического лица или индивидуального предпринимателя в реестре членов саморегулируемой организации (число, месяц, год)	24 января 2018 г.
2.3. Дата (число, месяц, год) и номер решения о	24 января 2018 г., №012-2018

Наименование	Сведения	
приеме в члены саморегулируемой организации		
2.4. Дата вступления в силу решения о приеме в члены саморегулируемой организации (число, месяц, год)	24 января 2018 г.	
2.5. Дата прекращения членства в саморегулируемой организации (число, месяц, год)	---	
2.6. Основания прекращения членства в саморегулируемой организации	---	
3. Сведения о наличии у члена саморегулируемой организации права выполнения работ:		
3.1. Дата, с которой член саморегулируемой организации имеет право выполнять инженерные изыскания, осуществлять подготовку проектной документации , строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, снос объектов капитального строительства по договору подряда на выполнение инженерных изысканий, подготовку проектной документации , по договору строительного подряда, по договору подряда на осуществление сноса (нужное выделить):		
в отношении объектов капитального строительства (кроме особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, объектов использования атомной энергии)	в отношении особо опасных, технически сложных и уникальных объектов капитального строительства (кроме объектов использования атомной энергии)	в отношении объектов использования атомной энергии
24 января 2018 г.	24 января 2018 г.	---
3.2. Сведения об уровне ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договору подряда на выполнение инженерных изысканий, подготовку проектной документации , по договору строительного подряда, по договору подряда на осуществление сноса, и стоимости работ по одному договору, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд возмещения вреда (нужное выделить):		
а) первый	---	стоимость работ по договору не превышает 25 000 000 рублей
б) второй	---	стоимость работ по договору не превышает 50 000 000 рублей
в) третий	Есть	стоимость работ по договору не превышает 300 000 000 рублей
г) четвертый	---	стоимость работ по договору составляет 300 000 000 рублей и более
д) пятый	---	---
е) простой	---	---
3.3. Сведения об уровне ответственности члена саморегулируемой организации по обязательствам по договору подряда на выполнение инженерных изысканий, подготовку проектной документации , по договору строительного подряда, по договору подряда на осуществление сноса, заключенным с использованием конкурентных способов заключения договоров, и предельному размеру обязательств по таким договорам, в соответствии с которым указанным членом внесен взнос в компенсационный фонд обеспечения договорных		

Наименование		Сведения
обязательств (нужное выделить):		
а) первый	Есть	предельный размер обязательств по договорам не превышает 25 000 000 рублей
б) второй	---	предельный размер обязательств по договорам не превышает 50 000 000 рублей
в) третий	---	предельный размер обязательств по договорам не превышает 300 000 000 рублей
г) четвертый	---	предельный размер обязательств по договорам составляет 300 000 000 рублей и более
д) пятый	---	---
4. Сведения о приостановлении права выполнять инженерные изыскания, осуществлять подготовку проектной документации, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, снос объектов капитального строительства:		
4.1. Дата, с которой приостановлено право выполнения работ (число, месяц, год)		---
4.2. Срок, на который приостановлено право выполнения работ		---

Начальник экспертного
отдела



Л.П. Мальцева

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ЛИЦЕНЗИЯ НА ПРОИЗВОДСТВО МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ
№ ПМ-56-002446 (О) ОТ 13.05.2008 Г.**

	
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ	
ЛИЦЕНЗИЯ	
№ ПМ-56-002446 от 13 мая 2008 г.	
На осуществление Производство маркшейдерских работ	
Виды работ (услуг), выполняемых (оказываемых) в составе лицензируемого вида деятельности, в соответствии с частью 2 статьи 12 Федерального закона "О лицензировании отдельных видов деятельности" согласно приложению к настоящей лицензии.	
Настоящая лицензия предоставлена Общество с ограниченной ответственностью "Научно-технический центр-Геотехнология" (полное наименование юридического лица с указанием организационно-правовой формы) ООО "НТЦ-Геотехнология" (сокращенное наименование юридического лица)	
Общество с ограниченной ответственностью "Научно-технический центр-Геотехнология" (фирменное наименование юридического лица) Общества с ограниченной ответственностью (организационно-правовая форма)	
Основной государственный регистрационный номер юридического лица (индивидуального предпринимателя) (ОГРН)	1047421520035
Идентификационный номер налогоплательщика	7447075866
Серия А В № 341456	

Место нахождения и места осуществления лицензируемого вида деятельности

Место нахождения: ул. Первомайская, 20, оф. 3, г. Качканар, Свердловская область, 624351.

Места осуществления лицензируемого вида деятельности согласно приложению к настоящей лицензии.

Настоящая лицензия предоставлена на срок:

☒ бессрочно

Настоящая лицензия предоставлена на основании решения лицензирующего органа – приказа от 13 мая 2008 г. № 444

Настоящая лицензия переоформлена на основании решения лицензирующего органа – приказа от 18 декабря 2017 г. № Св-1327

Настоящая лицензия имеет 1 приложение, являющееся ее неотъемлемой частью на одном листе.

Руководитель Управления

(должность уполномоченного лица)

(подпись)

В.М. Ткаченко

(Ф.И.О. уполномоченного лица)

М.П.



Лист 1 из 1

ПРИЛОЖЕНИЕ
к лицензии № ПМ-56-002446 от 13 мая 2008 г.
(без лицензии недействительно)

Виды работ (услуг), выполняемых (оказываемых) в составе деятельности:
«Производство маркшейдерских работ»
[пространственно-геометрические измерения горных разработок и подземных сооружений, определение их параметров, местоположения и соответствия проектной документации;
наблюдения за состоянием горных отводов и обоснование их границ;
ведение горной графической документации;
учет и обоснование объемов горных разработок;
определение опасных зон горных разработок, а также мер по охране горных разработок, зданий, сооружений и природных объектов от воздействия работ, связанных с использованием недрами, проектирование маркшейдерских работ.]

Места осуществления лицензируемого вида деятельности
[ул. Энтузиастов, 30, кабинет № 712, г. Челябинск, Челябинская область, 454048.]

Руководитель Уральского
управления Ростехнадзора
(должность уполномоченного лица)


(подпись)

В.М. Ткаченко
(Ф.И.О. уполномоченного лица)

Серия А В № 198481