

УДК 624.1

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-87-97

ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА НА УЧАСТКЕ С ДЕЙСТВУЮЩИМ ОПОЛЗНЕМ В ПК GEOSTAB

Э. Р. Исхакова, О. Н. Осипова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются геоморфологические особенности участка Южного берега Республики Крым (пгт. Гурзуф) проектируемого резервуара объемом 3000 м³, в частности наличие на площадке действующего оползня. Целью является проверка устойчивости склонов по выделенным направлениям, с использованием нескольких методов расчета (при нормативных, расчетных значениях, по результатам обратного расчета): методом Morgenstern-Price и методом Шахунянца. В результате проведенных расчетов в ПК GeoStab было определено, что по некоторым направлениям склон не обладает запасом устойчивости при обычном и особом сочетании нагрузок. Даны рекомендации для предотвращения возникновения эрозионных и локальных оползневых процессов.

Ключевые слова: геоморфологические инженерные изыскания, южный берег Крыма, оползень, коэффициент устойчивости склона, метод Morgenstern-Price, метод Шахунянца

VERIFICATION THE STABILITY OF A SLOPE DURING THE DESIGN OF A CONCRETE TANK IN AN AREA WITH AN ACTIVE LANDSLIDE IN THE GEOSTAB PC

E. R. Iskhakova, O. N. Osipova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Annotation. This article discusses the geomorphological features of the Southern Coast of the Republic of Crimea (Gurzuf) and the projected concrete tank with a volume of 3000 m³, including the presence of an active landslide on the site. The goal is verification the stability of the slopes in the selected directions using several calculation methods (based on regulatory and design values, as well as the results of inverse calculation): the Morgenstern-Price method and the Shakhunyants method. As a result of the calculations performed in the GeoStab PC, it was determined that in some areas the slope does not have a margin of stability under normal and special combinations of loads. Recommendations are given to prevent the occurrence of erosion and local landslide processes.

Keywords: geomorphological engineering surveys, southern coast of Crimea, landslide, slope stability coefficient, Morgenstern-Price method, Shakhunyants method

Введение

Объектом проектирования является монолитный железобетонный резервуар объемом 3000 м³ (24,0×30,0×5,7(h) м) в поселке городского типа Гурзуф, Республика Крым. Участок проектируемого строительства распо-

ложен в пределах юго-восточной оконечности и части склонов водораздельного хребта Болгатур, преимущественно южной, юго-восточной экспозиции. К востоку от хребта протекает р. Хаста, к западу её правый безымянный приток. Глубина вреза р. Хаста, в пределах обследуемой территории, порядка 15–18 м, крутизна бортов 45°–65°.

Геоморфологические особенности территории (южнобережная геоморфологическая область Главной гряды Крымских гор) обусловили ряд специфических условий для проектирования, а именно: южный берег Крыма отличается большой эрозионной расчленённостью с характерными многочисленными балками и оврагами, террасированием и эрозионными амфитеатрами. Абсолютные отметки поверхности земли на участке проектирования изменяются от 191,25 до 206,75. В структурном отношении Южный берег соответствует зоне резко контрастных новейших движений. На формирование рельефа оказывают большое влияние эрозионные и гравитационные процессы.

В сейсмическом отношении участок изысканий относится к району с высокой сейсмической активностью – 8 баллов

Цели инженерно-геологических работ:

- уточнение геологического строения площадки строительства с учетом инженерно-геологических и гидрогеологических условий, прогноз возможных их изменений;
- статистическая обработка результатов лабораторных исследований по выполненной корректировке;
- выделение ИГЭ, классификация грунтов по трудности разработки и сейсмическим свойствам.

Объемы работ были заданы в соответствии [1] с учетом III категории инженерно-геологических условий. Расстояние и глубина горных выработок для проектируемых сооружений определялась в соответствии с разделом № 6 [1].

Буровые работы производились буровой установкой, вращательным колонковым способом, кольцевым забоем, диаметром до 160 мм, с соблюдением правил по технике безопасности и охране окружающей среды.

В настоящее время изучением особенностей природных условий и ресурсов полуострова занимаются сотрудники Крымского Федерального университета. Результаты исследований публикуются в тематических монографиях, а также периодических изданиях «Ученые записки КФУ им. В. И. Вернадского» [2], «Культура народов Причерноморья» и др. [3]. Изучением вопросов гидрогеологии и карста региона занимается Институт спелеологии и карстологии (Б. А. Вахрушев, Г. Н. Амеличев, С. В. Токарев и др.).

Рельеф сформирован преимущественно оползневыми, а также эрозийными процессами, осложнен техногенным вмешательством (планировочными работами и террасированием) при освоении территории.

Изучением современного состояния и динамики оползневой ситуации в пределах полуострова занимается Крымское противооползневое управление. По ТУ Ялтинского Противооползневого управления, выданных на трассу изысканий в данном районе, исследуемая территория приурочена к оползням с кадастровыми номерами №№ 335 и 110/348, наблюдения за которым ведутся с 1962 г. Согласно карте и кадастру оползней Крыма (данные кадастра ГУП РК Крымгеология» до 2006 г.), в пределах участка широко распространены «современные оползневые процессы. Участок изысканий расположен на оползне № 11/348 «Хастинский II».

Основная часть

В геолого-литологическом строении территории принимают участие:

- техногенные образования (tQh), представленные разнородным по литологическому составу насыпным грунтом с примесью строительного мусора;
- современные оползневые (dpQh) образования и верхнечетвертичные делювиальные (dQh+QN3) отложения, представленные суглинком дресвяным и дресвяно-щебенистыми грунтами с суглинистым заполнителем, с обломочным материалом из дресвы и щебня аргиллита, алевролита и песчаника;
- породы Таврической серии (ТЗ-J1), представленные переслаивающимися аргиллитом, алевролитом и песчаником.

Четвертичные отложения, в пределах водораздела и на склоне, практически повсеместно перекрывают коренные породы Таврической серии: оползневые накопления распространены в пределах оползня; делювиальные – на водораздельной части территории и, локально, пологих участках склона; техногенные грунты — преимущественно в зонах застройки и под дорогами, отсыпанные при вертикальной планировке территории и устройстве дорожного полотна.

Коренной фундамент исследуемого участка сложен породами таврической серии. Для них характерно преобладание в разрезе аргиллита чешуйчатого и тонкоплитчатого, реже встречается аргиллит плитчатый с прослоями песчаника.

В кровле коренных пород сформировалась элювиальная зона [e(ТЗ+J1)], где аргиллит сильно выветрелый, буро-коричневый, сильно трещиноватый, ожелезненный.

Выходов подземных вод на дневную поверхность не зафиксировано.

По данным ГКУ РК «Противооползневое управление» и Кадастру оползней Крыма на обследованной территории развит современный оползень № 110/348 и оказывающий влияние на проектируемые сооружения.

Оползень №110/348 «Хастинский II». Выделен и откартирован ГУП РК «Крымгеология» в 1962 г. Тип оползня по форме — фронтальный, с расходящимися к низу бортами. Длина оползня по оси движения составляет 95 м, ширина достигает 230 м. Площадь — 21850 м², по масштабности оползень большой. По механике смещения оползень относится к скользящим, по причинам возникновения — эрозионный, по литологическому составу смещенных масс — к Б типу (аргиллитово-сланцевые, мелко и средне-обломочные с суглинком), по гидрогеологическим условиям (питанию тела оползня водой) — локальный. Средняя крутизна склона достигает 17 градусов. Высотные отметки головной части оползня — +208,0м, базиса разгрузки — +155,0м. Поверхность оползня волнистая, террасированная с существующей автомобильной дорогой, вдоль которой, с нагорной стороны выполнена инженерная защита в виде подпорных бутовых стен. Кроме того, необходимо отметить, что в пределах склона были сделаны две площадки в виде террас для последующего строительства. На площадке с южной стороны склона остались руины не большого сооружения. Площадка на восточной стороне, приходящаяся на оползень, так и осталась не застроенной.

Оценка устойчивости склона

В соответствии п.5.2.3 [4] расчет устойчивости склонов необходимо выполнять в соответствии с зависимостью (1):

$$R/F = k_{st} \leq [k_{st}], \quad (1)$$

где $[k_{st}]$ — нормативное значение коэффициента устойчивости склона; k_{st} — расчетное значение коэффициента устойчивости, определяемое как отношение удерживающих сил (моментов) R , действующих вдоль линии скольжения, к сдвигающим силам (моментам) F .

Под коэффициентом устойчивости k_{st} понимают число, на которое следует разделить исходные прочностные характеристики грунта $\text{tg}\phi$ и c , чтобы ограниченный данной пробной поверхностью скольжения массив пришел в состояние предельного равновесия.

В соответствии п. 5.2.3 [4] нормированное значение коэффициента устойчивости склона (откоса) $[k_{st}]$ определяется по формуле

$$[k_{st}] = \gamma_n \psi / \gamma_d, \quad (2)$$

где γ_n — коэффициент надежности по ответственности, согласно табл.2 п.10.0 [5] принят 1,0; ψ — коэффициент сочетания нагрузок, принимающий значения согласно п. 5.2.2 [4], для расчета по предельным состояниям второй группы на основе сочетания нагрузок принят 1,0, для особого сочетания нагрузок, в том числе сейсмической нагрузки на уровне проектного землетрясения (ПЗ) годовой вероятностью 0,01 принят 0,95; γ_d — коэффициент условий работы согласно п. 5.7.2 [6] для глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии принят 0,85.

Для расчета по предельным состояниям второй группы:

$$[k_{st}] = 1,0 \cdot 1,0 / 0,85 = 1,18.$$

Для расчета по особым предельным состояниям:

$$[k_{st}] = 1,0 \cdot 0,95 / 0,85 = 1,12.$$

Для оценки устойчивости склона построены пять расчетных профиля, учитывающие разновекторность направлений вероятных смещений — по линиям 1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5'.

Оценка устойчивости склонов выполнена по методам прислоненных отсеков Г. М. Шахунянца, в т. ч. и обратный расчет, и Моргенштерна-Прайса в программном обеспечении GeoStab [7–9].

Учитывая, что при потоково-струйчатом типе водоносного горизонта, не происходит площадного и полного, по глубине, водонасыщения грунтов ИГЭ-1, 2, 3, плотность принята для их естественного (природного) состояния.

По этой же причине, значения удельного сцепления и угла внутреннего трения определенные по «Методике...» [10], приняты для условий быстрого сдвига в грунтах, находящихся в естественном состоянии.

Поскольку, оползень №110/348 в целом находится во временно стабильном состоянии, сначала оценка склона выполнена с применением нормативных (первый вариант расчетов) и расчетных (второй вариант) значений показателей прочностных характеристик.

Значения показателей прочностных характеристик для первого и второго вариантов расчета, приняты по результатам анализа, как архивных материалов, так и полученных при настоящих изысканиях и приведенных в табл. 1. Для третьего варианта расчетов применены откорректированные, по результатам обратного расчета, показатели прочностных характеристик (табл. 2).

При обратном расчете, первоначально принимались значения показателей прочностных характеристик грунтов ИГЭ-1, для условий быстрого сдвига определенные по [10] находящихся в водонасыщенном состоянии — $\varphi = 21^\circ$, $C = 0,0093$ МПа. Поскольку значения углов, для грунтов в естественном и водонасыщенном состоянии, разнятся в один градус, а значительно изменяется сцепление, то корректировке, в сторону увеличения, подверглись именно последние, с доведением до $C = 0,0116$ МПа, при котором коэффициент устойчивости склона равен единице ($k_{st} = 1$).

Учитывая наличие локального оползневого процесса, на теле кадастрового оползня, с участием грунтов делювиального (ИГЭ-1) и элювиального происхождения (ИГЭ-2), а значит на момент течения процесса принимающих одинаковые прочностные свойства, выполнен третий вариант расчета с применением откорректированных значений удельного сцепления и угла внутреннего трения, одинаковых для обоих грунтов.

Головная часть расчетных оползней принята в пределах проектируемых сооружений, базис разгрузки, для профилей по линиям 1-1' ÷ 3-3', принят в пределах проезжей части, расположенной ниже по склону, а для профилей 4-4' и 5-5' – русло реки Хаста (рис. 1).

Схематический вид характерных расчетных схем приведен на рис. 2–6.

Общее число расчетных профилей — 5, расчетных плоскостей смещения — 8, определение оползневых давлений — 4, суммарное количество расчетов устойчивости склонов — 50.

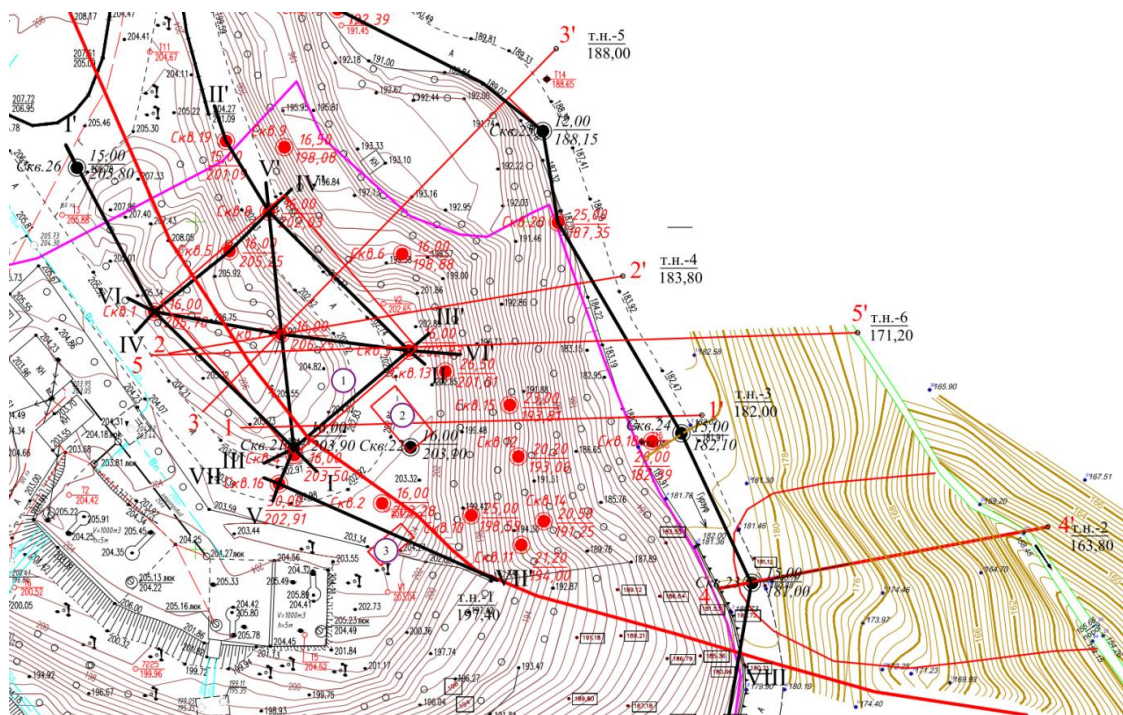


Рис. 1. Карта фактического материала, М1:500

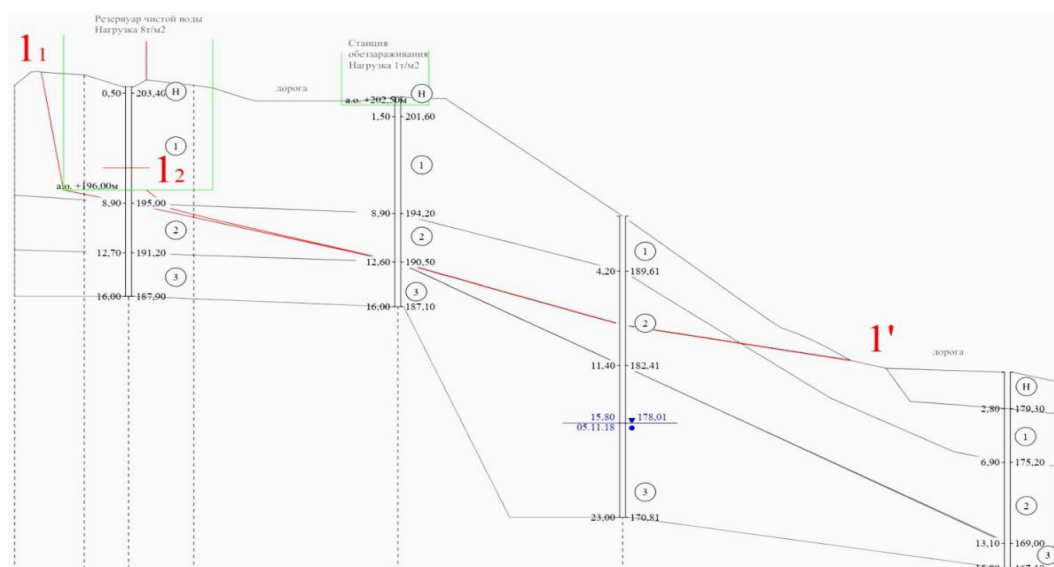


Рис. 2. Схематический вид расчетной схемы по линии 1-1'

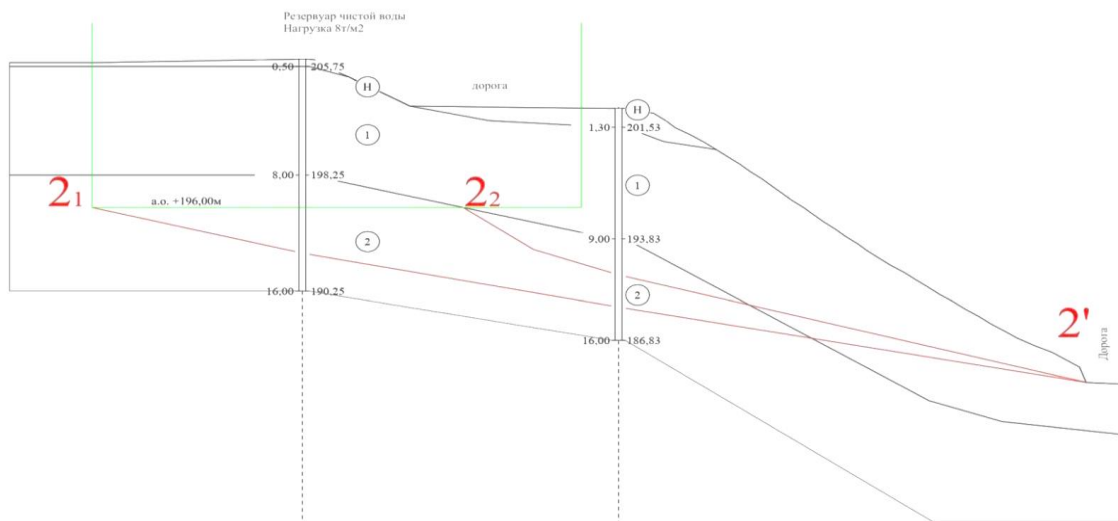


Рис. 3. Схематический вид расчетной схемы по линии 2-2'

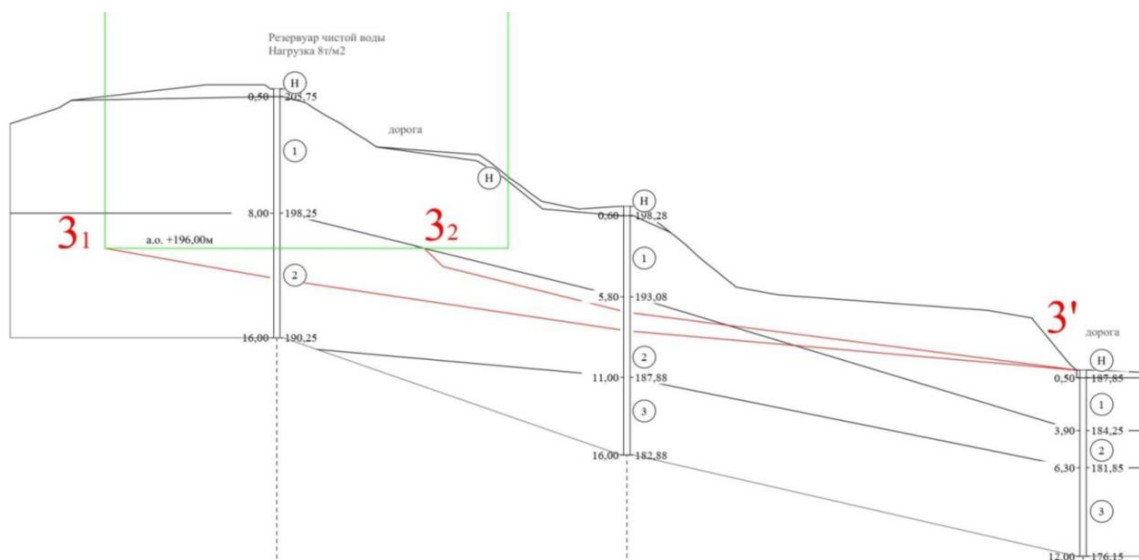


Рис. 4. Схематический вид расчетной схемы по линии 3-3'

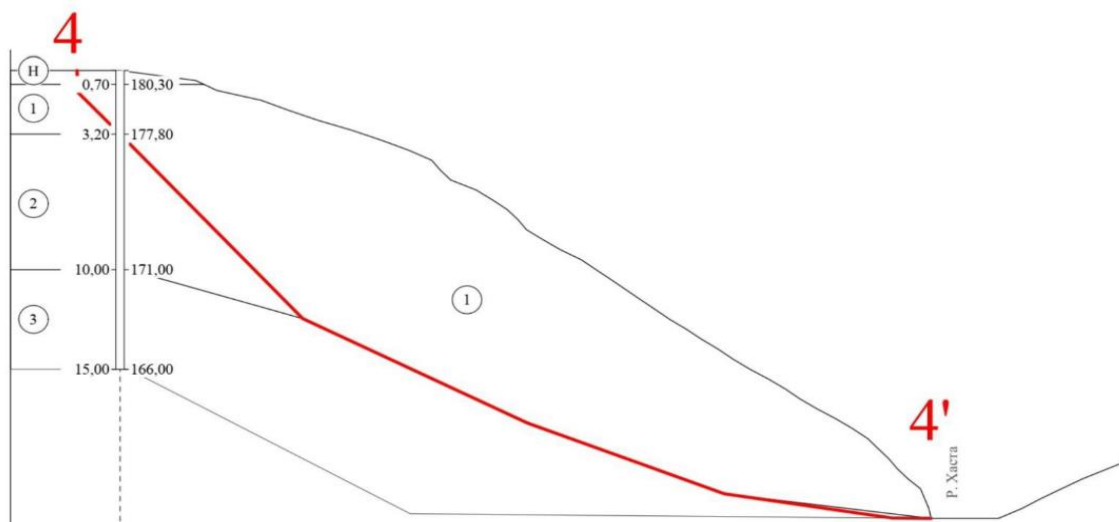
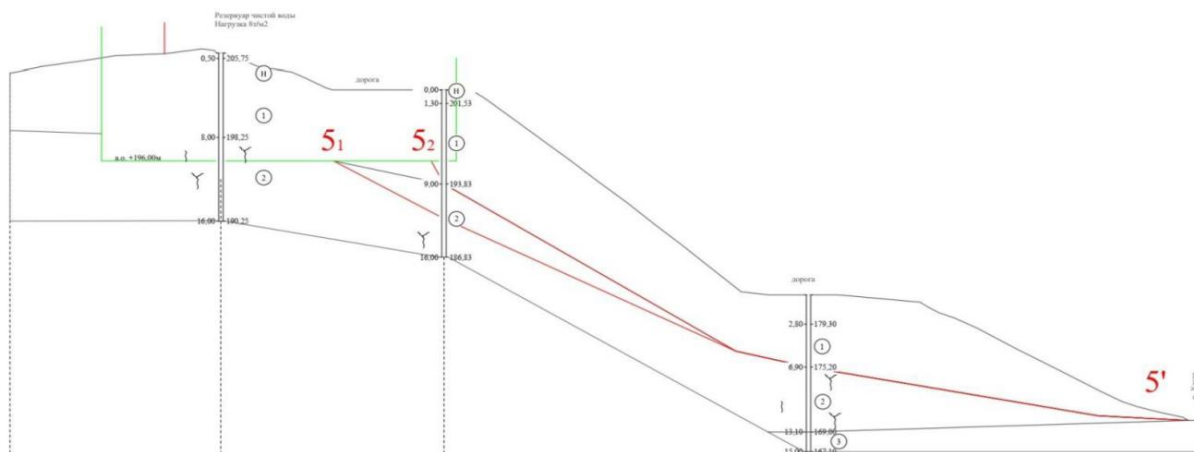


Рис. 5. Схематический вид расчетной схемы по линии 3-3'



Коэффициент устойчивости склона по методу Morgenstern-Price определяется отношением:

$$K_y = \sum T_{\text{реакт } i} \cdot \lambda_i / \sum T_{\text{акт } i (\text{сдвиг})} \cdot \lambda_i, \quad (4)$$

где $T_{\text{реакт } i}$ — суммарный момент реактивных сил i -го отсека, кН/м;
 $T_{\text{акт } i (\text{сдвиг})}$ — касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i -го отсека, сонаправленная с общим направлением сдвига кН/м;

$$\lambda_i = \cos \varphi_i / \cos(\alpha_i - \varphi_i).$$

Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Результаты расчетов устойчивости склона по первому и второму варианту

№ п/п	Расчет по первому варианту		Расчет по второму варианту	
	При нормативных значениях прочностных характеристик в естественном состоянии с построением эпюр оползневых давлений		При расчетных значениях прочностных характеристик в естественном состоянии с построением эпюр оползневых давлений	
	Г. М. Шахунянца	Моргенштерна-Прайса	Г. М. Шахунянца	Моргенштерна-Прайса
1 ₁ -1'	2,421	2,414	1,945	1,944
1 ₂ -1'	2,321	2,304	1,895	1,884
2 ₁ -2'	1,898	1,900	1,518	1,527
2 ₂ -2'	2,994	2,841	2,445	2,336
3 ₁ -3'	3,282	3,259	2,564	2,557
3 ₂ -3'	4,412	4,386	3,544	3,529
5 ₁ -5'	1,907	1,933	4,533	1,563
5 ₂ -5'	1,832	1,885	1,456	1,513

По результатам расчетов устойчивости склона по первому и второму вариантам склон обладает запасом устойчивости по всем приведенным профилям.

Таблица 2. Результаты расчетов устойчивости склона по третьему варианту

№ п/п	При нормативных значениях прочностных характеристик в естественном состоянии с построением эпюр оползневых давлений	
	по Г. М. Шахунянца	по Моргенштерна-Прайса
1 ₁ -1'	1,527	1,534
1 ₂ -1'	1,474	1,470
2 ₁ -2'	1,286	1,292
2 ₂ -2'	1,952	1,955
3 ₁ -3'	2,077	2,080
3 ₂ -3'	2,774	2,773
4'	1,000	1,059
5 ₁ -5'	1,146	1,176
5 ₂ -5'	1,088	1,141

Заключение

В целом оползневой склон находится в стабильном состоянии, но при пригрузке его весом проектируемых сооружений, он не будет обладать запасом устойчивости при обычном и особом сочетании нагрузок.

Расчеты устойчивости склона по третьему варианту, с откорректированными по обратному расчету значениями прочностных характеристик, показывают, что склон, пригруженный проектируемыми сооружениями, по профилю 5-5' и расчетным плоскостям 5₁-5' и 5₂-5' не обладает запасом устойчивости при обычном ($k_{st} < 1,12$) и особом ($k_{st} < 1,18$) сочетании нагрузок. В данном расчете рассматривается сползание краевой (прибровочной) части склона и разрушение части проектируемого сооружения. Учитывая, что грунты ИГЭ-2 представлены тонкоплитчатым и чешуйчатым аргиллитом с сильновыветрелым и сильно трещиноватым песчаником, прослои которого придают больше прочности, а значит и устойчивости, массиву грунта, а также значительную крутизну склона и высокие углы наклона кровли коренных пород, по которым возможно возникновение смещения, данные результаты выглядят правдоподобно.

Для предотвращения дальнейшего развития эрозионных процессов в пределах русла р. Хаста необходимо выполнить инженерную защиту ее берегов.

Возможные утечки из водонесущих коммуникаций и незарегулированный поверхностный сток, могут привести к развитию эрозионных процессов и локальных оползней по всему склону с нарушением стабильности проектируемых сооружений.

Для предотвращения возникновения локальных оползневых процессов необходимо реконструировать подпорную стену на подъеме по ул. 60-лет СССР к площадке строительства проектируемых сооружений.

Зарегулировать поверхностный сток в пределах водораздельной части территории, а также по существующим автомобильным дорогам.

При проектировании водовмещающих сооружений предусмотреть систему аварийного сброса (отвода) воды при возникновении утечек. Перед началом строительства выполнить ревизию существующих водонесущих коммуникаций.

Список источников

1. СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456045544> (дата обращения: 11.04.2026).

2. Вахрушев, Б. А. Геоморфологические исследования локальных участков со сложными инженерно-геологическими условиями (на примере участка южного берега Крыма) / Б. А. Вахрушев, А. И. Ковригин, И. Н. Хомич // Ученые записки крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 229-244.

3. Новиков, И. С. Геоморфология и неотектоника юго-западного Крыма / И. С. Новиков, Д. А. Борисенко // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62. – № 4. – С. 498-513. DOI: 10.15372/GiG2019153.
4. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540> (дата обращения: 11.04.2026).
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/70979546> (дата обращения: 12.04.2025).
6. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. – Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084710> (дата обращения: 12.04.2025).
7. Руководство пользователя. GeoStab 5.2.4. Расчет устойчивости склонов и откосов. Сайт. URL: <https://www.geoset.pro/download/guides/GeoStab%205%20UserGuide.pdf?ysclid=mo4dmoхaxi434322534> (дата обращения: 10.04.2026).
8. Рогальских, В. С. Обзор существующих программных решений для расчета устойчивости откосов и склонов / В. С. Рогальских, И. В. Носков // Ползуновский альманах – Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 2025. – № 1. – С. 183-186.
9. Переверзева Л. В. Современные методы расчета устойчивости откосов и склонов / Л. В. Переверзева, И. В. Носков // Ползуновский альманах – Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – 2025. – № 1. – С. 167-170.
10. Методика оценки прочности и сжимаемости крупнообломочных грунтов с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватых и глинистых грунтов с крупнообломочными включениями / ДальНИИС. – М.: Стройиздат, 1989. – 24 с.

© Исхакова Э. Р., Осипова О. Н., 2026