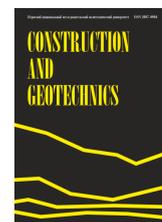




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 15, № 4, 2024

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2024.4.03

УДК 624.137.5

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ НИЖНЕГО НОВГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА «ФУНИКУЛЕР НА ОТКОСЕ НИЖЕГОРОДСКОГО КРЕМЛЯ»

А.И. Харичкин<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Соловьев<sup>1</sup>, Н.А. Афанасьев<sup>1,2</sup>, Р.Р. Журавлев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М. Герсевича, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

### О СТАТЬЕ

Получена: 25 апреля 2024  
Одобрена: 12 сентября 2024  
Принята к публикации:  
05 ноября 2024

#### Ключевые слова:

инженерная защита территорий, подпорная стена, грунтовый анкер, грунтовый нагель, оползень, склон.

### АННОТАЦИЯ

Оползневая опасность на территории Нижнего Новгорода – актуальный на сегодняшний день вопрос, изучаемый несколько десятков лет. Риск активизации оползневых процессов ежегодно повышается в весенний и осенний периоды ввиду обильного замачивания склонов при снеготаянии либо осадками. При этом в большинстве случаев критическое снижение устойчивости откосов и склонов происходит в результате техногенных воздействий.

В данной работе на примере объекта «Фуникулер на откосе Нижегородского Кремля» показан опыт современного комплексного подхода к геотехническому проектированию, поиска рациональных конструктивных решений, а также взаимной увязки и оптимизации технологических процессов производства работ при разработке мероприятий инженерной защиты. Рассмотрена методика выполнения расчетов устойчивости с применением математического моделирования оползнеопасного склона в плоской и объемной постановках; предлагается последовательный подход к поиску оползнеопасных зон и проектированию противооползневой защиты.

© Харичкин Андрей Игоревич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, доцент, e-mail: andrei.kharichkin@gmail.com, ORCID: 0009-0006-3235-2846.

Соловьев Дмитрий Юрьевич – ведущий научный сотрудник, e-mail: solov.dmt@gmail.com.

Афанасьев Никита Александрович – младший научный сотрудник, аспирант, e-mail: nik.afanasev.01101998@gmail.com, ORCID: 0009-0008-9968-7100.

Журавлев Роман Романович – студент, e-mail: romazhurawlyow@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-5370-8979.

Andrey I. Kharichkin – Ph. D in Technical Sciences, Head of Laboratory, Associate Professor, e-mail: andrei.kharichkin@gmail.com, ORCID: 0009-0006-3235-2846.

Dmitry Yu. Soloviev – Senior Researcher, e-mail: solov.dmt@gmail.com.

Nikita A. Afanasev – Junior Researcher, Postgraduate Student, e-mail: nik.afanasev.01101998@gmail.com, ORCID: 0009-0008-9968-7100.

Roman R. Zhuravlev – Student, e-mail: romazhurawlyow@yandex.ru, ORCID: 0009-0006-5370-8979.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

## **GEOTECHNICAL ASPECTS OF CIVIL PROTECTION ENGINEERING OF NIZHNY NOVGOROD AT THE FACILITY "FUNICULAR ON THE SLOPE OF THE NIZHNY NOVGOROD KREMLIN"**

**A.I. Kharichkin<sup>1,2</sup>, D.Yu. Soloviev<sup>1</sup>, N.A. Afanasev<sup>1,2</sup>, R.R. Zhuravlev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov,  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 25 April 2024  
Approved: 12 September 2024  
Accepted for publication:  
05 November 2024

#### *Keywords:*

civil protection engineering, retaining wall, ground anchor, ground nail, landslide, slope.

---

### ABSTRACT

The current issue of landslide danger in Nizhny Novgorod has been studied for several decades. The activation of landslide processes risk increases annually in the spring and autumn periods due to the abundant soaking of the slopes during snowmelt or precipitation. Often a critical decrease in the stability of slopes and slopes occurs as a result of anthropogenic impacts.

This article, using the example of the object "Funicular on the slope of the Nizhny Novgorod Kremlin", shows the experience of a modern integrated approach to geotechnical design, the search for rational design solutions, mutual coordination and optimization of technological processes of work when designing engineering protection measures. The methodology for performing stability calculations using mathematical modeling of a landslide slope in flat and volumetric formulations is considered. The authors propose a consistent approach to searching for landslide-prone areas and landslide civil protection engineering designing.

---

## **Введение**

На сегодняшний день оползень в Нижнем Новгороде – событие, которое не удивляет местное население (рис. 1). Проблематика оползневой опасности Нижегородской области изучается несколько десятков лет и представлена в работах различных ученых и специалистов [1–6]. Активизация оползня – это аварийная ситуация, которая несет высокую опасность для населения, транспорта, существующих зданий и сооружений. Риск возникновения поверхностных оползней ежегодно повышается в весенний и осенний периоды ввиду обильного замачивания склонов талыми водами либо осадками.

Силами различных организаций с переменным успехом ведутся работы по укреплению нижегородских склонов. Зачастую принимаемые проектные решения разрабатываются без учета технической возможности их реализации в условиях круто наклонного рельефа и стесненных условий строительства, вследствие чего не могут быть реализованы. Часть проектов не обеспечивают безопасность производства работ или эксплуатации, в результате чего возникает необходимость перепроектирования, начиная с принципиального изменения технологических и конструктивных решений.

В данной статье рассмотрены геотехнические аспекты проектирования инженерной защиты на объекте «Фуникулер на откосе Нижегородского Кремля» с учетом технологических и конструктивных особенностей сооружения, возводимого в сложных инженерно-геологических условиях на участке оползнеопасного склона. Отмечены наиболее значимые факторы, влияющие на выбор конструктивных решений, рассмотрен системный подход к проектированию отдельных геотехнических решений.



ул. Пискунова, 1930-е гг.



Окский съезд, 1974 г.



Метроост, 22 апреля 2016 г.



Зелинский съезд, 22 апреля 2016 г.



Похвалинский съезд, март 2020 г.



Зелинский съезд, май 2020 г.

Рис. 1. Оползни Нижнего Новгорода. XX–XXI вв.

Fig. 1. Nizhniy Novgorod slopes. XX–XXI centuries

## Обзорная часть

### Фуникулер на откосе Нижегородского Кремля [7]

Проектируемый фуникулер на откосе Нижегородского Кремля работает по принципу наклонного лифтового подъемника, эксплуатируемого на наклонной ( $22,58^\circ$ ) поверхности. Вагон перемещается по направляющим и приводится в движение тяговым канатом. На участке работ ранее располагалась старая трасса фуникулера, функционировавшего в 1896–1926-е гг. Изначально проект реконструкции фуникулера предполагал выполнение закрытой проходки под существующей стеной (пряслом) между Северной и Часовой башнями Нижегородского Кремля, являющегося объектом культурного наследия. Проходку необходимо было выполнить под углом  $\sim 25^\circ$  в условиях недостаточной устойчивости существующего склона.

Для возведения закрытой части трассы (тоннеля) рассматривалось два варианта. Первый – использование механизированного туннеле-проходческого щита, что представлялось нецелесообразным, учитывая длину закрытого участка  $\sim 30$  м. Также возникала необходимость устройства приемного и стартового котлованов существенных габаритов в условиях склона (угол заложения –  $27\text{--}35^\circ$ ) и плотной исторической застройки.

Второй вариант – разработка тоннеля под защитой опережающего экрана из предварительно задавливаемых стальных труб  $\text{Ø}530 \times 12$  мм (рис. 2, а). Данная технология часто применяется при строительстве тоннелей под действующими автодорогами и ж/д магистралями. При этом предполагалось усилить вышележащий над тоннелем массив пылевато-глинистого грунта путем инъецирования геопалимерным составом (рис. 2, б).

Погружение труб длиной 15 м предполагалось выполнить снизу вверх по склону под углом около  $30$  градусов с помощью гидравлических домкратов. В условиях неопределенности фактического положения сохранившегося кирпичного тоннеля возможность реализации данного технического решения вызывала существенные сомнения. С учетом факторов, осложняющих строительство, реализация данных решений повышала риск возникновения

аварийных ситуаций, связанных с активизацией оползней и опасностью повреждения объектов культурного наследия.

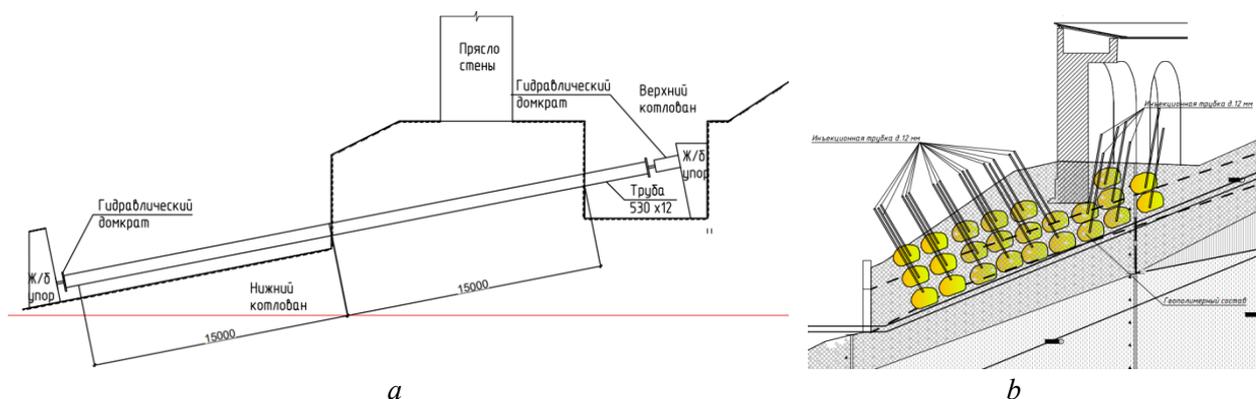


Рис. 2. Первоначальный проект устройства тоннеля фуникулера под пряслом Кремля:  
а – прокол массива грунта под пряслом из предварительно устроенных котлованов;  
б – усиление вышележащего массива инъецированием

Fig. 2. The initial design of the funicular tunnel under the Kremlin: a – puncture of the soil mass under the spinning wheel from pre-arranged pits; b – reinforcement of the overlying mass by injection

По результатам комплексного анализа условий строительства было принято решение строительства тоннеля в верховой части склона и под пряслом Кремля в открытом котловане. Сохранность стен Кремля при этом обеспечивается путем пересадки их на буронабивные сваи малого диаметра, объединяемые монолитным ростверком между собой и с кирпичными стенами.

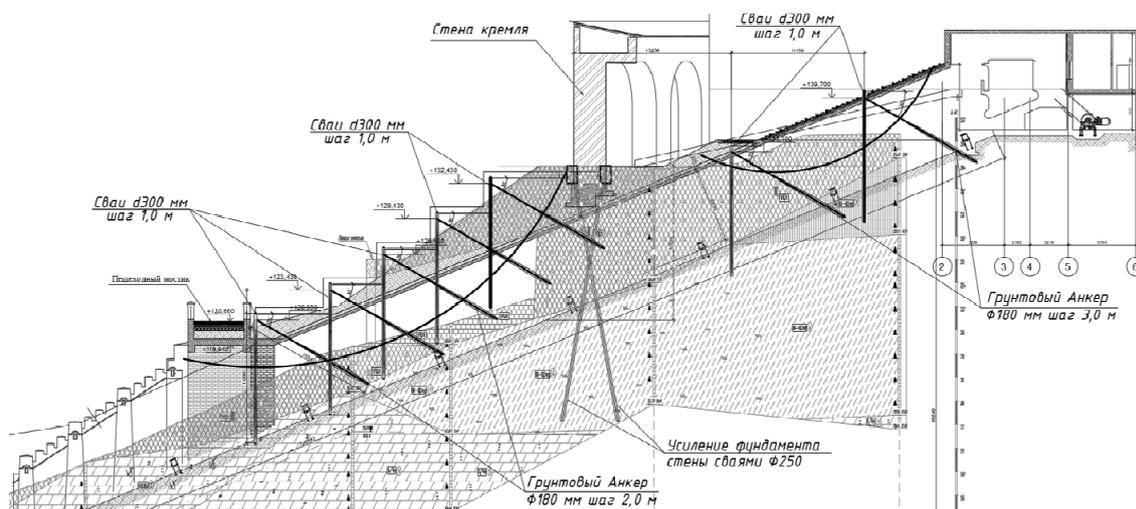


Рис. 3. Технические решения укрепления склона и прясла Кремля  
Fig. 3. Civil protection engineering for the slope and piles of the Kremlin

Для повышения устойчивости откоса как на строительный период, так и на период эксплуатации, а также для устройства рабочих площадок для строительной техники было запроектировано террасирование склона. Временные грунтовые бермы удерживались каскадом свайных подпорных стен с анкерным креплением (рис. 3). Сваи диаметром 300 мм армировались стальной трубой 219×8 мм, шагом свай – 1,0 м. Впоследствии сваи среза-

лись до уровня планировки и обетонировались, формируя противооползневую защитой склона на период эксплуатации. Крепление свайных стен выполнено ненапрягаемыми грунтовыми анкерами длиной 11 м с арматурной тягой Ø25 мм.

Ввиду невозможности размещения в пределах временных террас на склоне тяжелой и крупногабаритной буровой техники, ограждение котлована для строительства тоннеля также выполнялось из бурокасательных свай диаметром 300 мм, армированных стальной трубой 219×8 мм, располагаемых в два ряда. Глубина котлована на склоне составляла до 13,5 м, устойчивость ограждения обеспечивалась многоярусным креплением из стальных труб.

На момент начала строительства кирпичная кладка прясла Кремля и его фундамент и основание находились в ограниченно-работоспособном состоянии (согласно СП 22.13330 осадки не должны превышать 5 мм). С целью повышения категории технического состояния до работоспособного (максимально допустимая осадка – 10 мм) и обеспечения безопасного выполнения проходки под пряслом было выполнено инъектирование трещин и заполнение пустот каменной кладки ремонтными растворами, а бутовые ленточные фундаменты усиливались козловыми буроинъекционными сваями диаметром 250 мм длиной 22 м. Непосредственно в зоне пересечения с трассой фуникулера ленточный фундамент вывешивался на сваях, нагрузка от прясла полностью передавалась через сваи на нижележащие слои грунта. Строительные работы в открытом котловане и под фундаментами прясла выполнялись более года. При этом по результатам геотехнического мониторинга осадки фундамента прясла не превысили 6,5 мм, что говорит об обоснованности и надежности принятых проектных решений, позволивших обеспечить сохранность объекта культурного наследия.

### **Аварийный участок в районе Северной башни**

На этапе строительства на смежном участке, прилегающем к полосе отвода возводимой трассы фуникулера, в марте 2023 г. при наступлении сезона снеготаяния произошло существенное обводнение склона. Это повлекло за собой активизацию поверхностных оползневых процессов (рис. 4, *a*), которые частично распространились на строительную площадку. Конструкции трассы фуникулера при этом повреждены не были.



Рис. 4. Аварийный участок в районе Северной башни Нижегородского Кремля:  
*a* – оползень, март 2023; *b* – аварийные противооползневые мероприятия, зима 2023–2024

Fig. 4. Emergency area near the Northern Tower of the Nizhny Novgorod Kremlin:  
*a* – landslide near the Northern Tower, March 2023; *b* – landslide protection, winter 2023–2024

Аварийные мероприятия на данном участке склона включили (рис. 4, *b*):

Учитывая необходимость сохранения исторического облика откосов Кремля, используя успешный опыт реализации противооползневых мероприятий в верхней части трассы фуникулера, аналогичные решения были применены для ликвидации последствий оползня, восстановления первоначального рельефа и повышения устойчивости склона.

- каскад семи анкерных свайных подпорных стен, позволяющих свободное передвижение техники по склону в период строительства;
- нагельное поле с противозерозионной защитой между Ст-6 и Ст-7 в совокупности с частичным выполаживанием участка склона.

Следует отметить, что по результатам расчетов, выполненных в рамках проектирования фуникулера в объемной постановке, данный участок имел наименьший коэффициент устойчивости, хотя и был выше минимально требуемых нормативных значений. Ввиду расположения участка за пределами полосы отвода трассы было принято, что необходимость выполнения дополнительных мероприятий по укреплению отсутствует. Выполненные после возникновения аварийной ситуации локальные поверочные расчеты по этому участку показали, что при особом сочетании воздействий склон может переходить в неустойчивое состояние. Анализ и сопоставление результатов выполненных расчетов представлены ниже.

## Расчет устойчивости склона Нижегородского Кремля

Ввиду быстрого развития компьютерных технологий аналитические (инженерные) методы расчетов устойчивости [8–10] уходят на второй план, а перспективным направлением расчетов устойчивости является использование компьютерных программ [11, 12]. В рамках данной статьи расчеты устойчивости выполняются в расчетном комплексе Plaxis, основанном на методе конечных элементов. Общий вид расчетной модели представлен на рис. 5. При расчетах принята модель Мора – Кулона. Результаты математического моделирования в объемной постановке и сравнения с результатами расчетов, выполненных в плоской постановке, представлены в таблице.

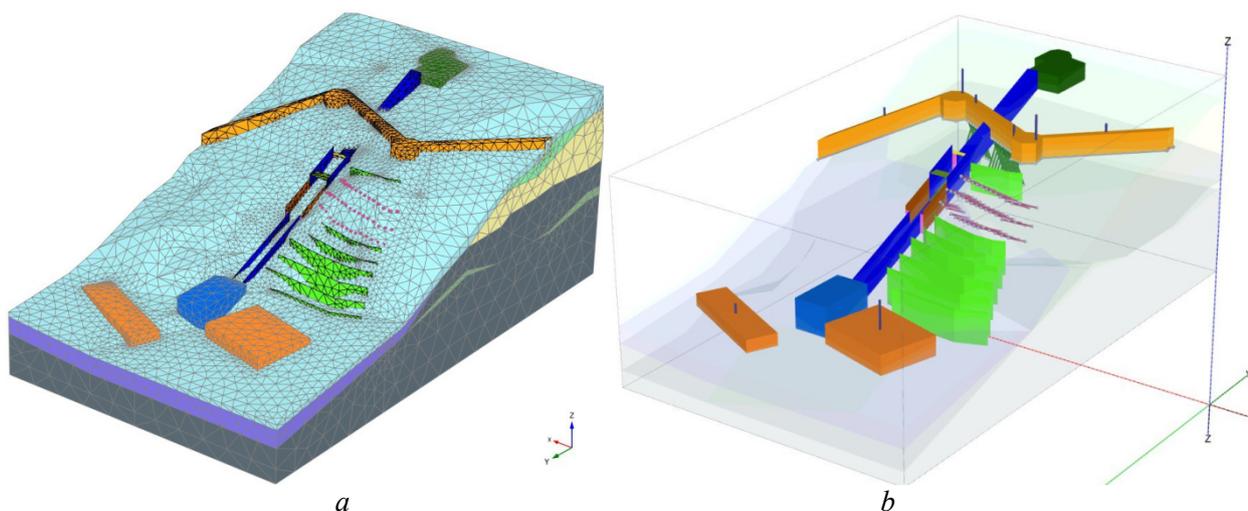


Рис. 5. Общий вид расчетной модели: *a* – грунтовый массив; *b* – конструкции  
Fig. 5. General view of the numeral model: *a* – soil mass; *b* – constructions

Результаты математического моделирования

Numeral modeling results

Расчетное сочетание (основное/особое)	Коэффициент устойчивости (основное/особое)			
	объемная постановка (Plaxis 3D)	плоская постановка (Plaxis 2D)	$\frac{K_{st,3D}}{K_{st,2D}}$	нормативный коэффициент*
Природный склон	1,374	1,231	1,116	1,05
	0,81	0,805	1,001	0,95
Склон с мероприятиями инженерной защиты (рис. 5)	1,611	1,338	1,2	1,21
	1,37/1,296/1,053	1,302	1,05	1,1

Примечание: \* – определены согласно п. 5.2.3. СП 116.13330.2012.

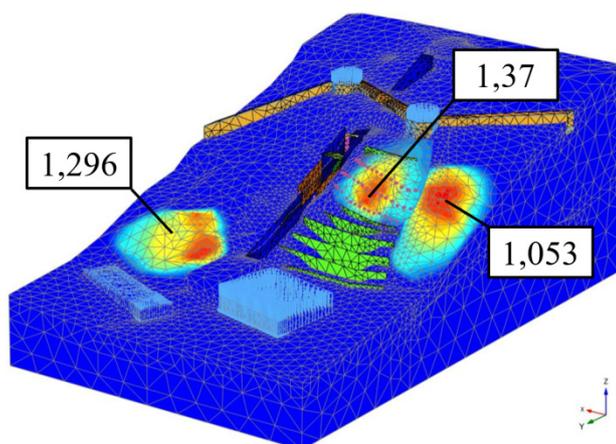


Рис. 6. Результаты расчета устойчивости обводненного склона с инженерной защитой  
 Fig. 6. Stability calculation results. Engineering civil protection. Soaking slope

Анализ результатов математического моделирования, полученных в объемной и двумерной постановках, показал следующее. Расчетные значения коэффициентов устойчивости обводненного склона составили 0,81 и 0,805 соответственно. Таким образом, подтверждается версия активизации оползневых процессов вследствие обводнения склона. Далее в плоской постановке были замоделированы проектируемые мероприятия инженерной защиты в виде свайных подпорных стен с анкernым креплением и армирование массива. Коэффициент устойчивости склона с учетом мероприятий инженерной защиты в обводненном состоянии составил 1,302, устойчивость склона обеспечена. После чего повторно выполнен поверочный расчет принятых конструктивных решений усиления склона в объемной постановке ( $k_{уст} = 1,37$ ). Дополнительно были выявлены другие потенциально оползнеопасные зоны, находящиеся вне участка укрепления склона, с расчетными коэффициентами устойчивости, в обводненном состоянии равными 1,296 и 1,053 (рис. 6). По результатам поверочного расчета рекомендовано дополнительно рассмотреть вопросы локальной устойчивости данных участков в плоской постановке и уточнить необходимость выполнения мероприятий инженерной защиты.

Выполненный анализ результатов расчетов показал, что преимуществом расчета в объемной постановке является корректный и наиболее полный учет топографической ситуации при моделировании склонов со сложным рельефом. При этом результат расчета в пространственной постановке обычно завышен относительно двумерного расчета (20–30 %) [13, 14], что позволяет использовать его для качественной оценки устойчивости и выявле-

ния наименее устойчивых участков. Для выделенных участков целесообразно выполнять локальные расчеты устойчивости в плоской постановке, на основании которых следует осуществлять выбор проектных решений. Поскольку двумерный расчет не учитывает всех особенностей рельефа, в дальнейшем рекомендуется отразить эти решения в объемной модели и повторить расчет с целью комплексной оценки и выявления других неустойчивых зон с учетом взаимного влияния.

Таким образом, при проектировании инженерной защиты территорий предлагается выполнять расчеты устойчивости в три этапа:

- предварительный (первый) – общий расчет склона в объемной постановке с целью определения потенциально оползнеопасных участков;
- основной (второй) – проектирование инженерной защиты на основании выполнения расчетов в двумерной постановке на участках, определенных на первом этапе;
- поверочный (третий) – повторный расчет в объемной постановке с целью проверки принятых конструктивных решений, а также определения устойчивости соседних участков.

## **Выводы**

Проблема комплексного освоения территорий, подверженных опасным природно-техногенным процессам, включая оползневые, характерна не только для Нижнего Новгорода, но и для других крупных городов [15].

Проектирование объектов в условиях сложного рельефа и наличия оползнеопасных склонов, строительство которых подразумевает несколько этапов, должно начинаться с комплексной оценки факторов, влияющих на выбор конструктивных решений. Проработка конструктивных решений на каждом этапе должна выполняться во взаимной увязке с последовательностью и технологическими особенностями производства работ. Этапность выполнения работ также необходимо учитывать при оценке устойчивости откосов и склонов и разработке мероприятий инженерной защиты.

Актуальным вопросом геотехнического проектирования конструктивных решений по укреплению склонов является выбор постановки рассматриваемой задачи. При выполнении расчетов методом конечных элементов в рамках проектирования мероприятий инженерной защиты рекомендуется комплексно подходить к выбору постановки решаемой задачи.

С одной стороны, расчеты в пространственной постановке достоверно учитывают топографические особенности рассматриваемого участка и дают качественную оценку общей устойчивости для территории в целом. При этом двумерный расчет менее ресурсозатратный, а результаты позволяют обеспечить некоторый запас надежности, более точно оценить локальную устойчивость участка и выполнить проектирование. Принятые проектные решения рекомендуется проверить повторным расчетом в объемной постановке, определив их влияние на прилегающие участки.

Учитывая описанный опыт проектирования инженерной защиты на территории Нижегородского Кремля, рекомендуется выполнять оценку устойчивости в три этапа. На первом этапе производится общий расчет склона в объемной постановке с целью определения потенциально оползнеопасных участков. На втором выполняются расчеты в плоской постановке и ведется проектирование инженерной защиты для участков, выявленных на первом этапе. Третьим этапом выполняется поверочный расчет в объемной постановке с целью проверки принятых конструктивных решений, а также определения устойчивости соседних участков с учетом влияния от принятых проектных решений.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

## Библиографический список

1. Карпов, Б.Н. Инженерная защита города Горького / Б.Н. Карпов. – Горький: Волго-Вят. кн. изд-во, 1979. – 191 с.
2. Соболев, И.С. Опасные геологические процессы на территории Нижнего Новгорода: история, современное состояние, опыт их предупреждения и ликвидации / И.С. Соболев, Д.Н. Хохлов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сб. ст. 78-й Всерос. науч.-техн. конф. – Самара, 2021. – С. 529–534.
3. Батянова, Н.Л. Потенциально опасные оползневые зоны в г. Нижний Новгород / Н.Л. Батянова // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения: сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию профессора И.А. Печеркина. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. – С. 142–153.
4. Батянова, Н.Л. Прогноз устойчивости склонов почваинского оврага в Нижнем Новгороде для строительного освоения / Н.Л. Батянова // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения: сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2020. – С. 179–191.
5. Потенциально опасные оползневые зоны на берегах водоемов Нижегородской области / И.Ф. Николкина [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4 (101). – С. 157–166.
6. Мардарь, И.А. Нижегородские оползни и методы борьбы с ними. Дни студенческой науки / И.А. Мардарь // Сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ. – М., 2021. – С. 144–150.
7. Харичкин, А.И. Экстремальная геотехника / А.И. Харичкин // НИИОСП. Вчера, сегодня, завтра: труды VII Петрухинских чтений. – М.: Изд-во НИЦ «Строительство». – 2023. – С. 128–140. DOI: 10.37538/2713-1149-2023-128-140
8. Janbu, N. Application of composite slip surface for stability analysis / N. Janbu // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. – Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam. – 1954. – P. 43–49.
9. Bishop, A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes / A.W. Bishop // Géotechnique. – 1955. – № 5. – P. 7–17.
10. Morgenstern, N.R. The Analysis of the stability of general slip surfaces / N.R. Morgenstern, V.E. Price // Geotechnique. – 1965. – № 15(1). – P. 79–93.
11. Фоменко, И.К. Современные средства количественной оценки устойчивости склонов / И.К. Фоменко, О.В. Зеркаль, Д.Н. Горобцов // Инженерно-геологические задачи и методы их решения: матер. науч.-практ. конф. – М.: Геомаркетинг, 2017. – С. 94–101.
12. Сироткина, О.Н. О классификации математических методов оценки локальной оползневой опасности / О.Н. Сироткина, И.К. Фоменко, Д.Н. Горобцов // Сб. науч. тр. по материалам II Междунар. науч. конф. «Наука России: цели и задачи». – Екатеринбург, 2017. – Т. 2. – С. 50–55. DOI: 10.18411/sr-10-04-2017-2
13. Cavounidis, S. On the ratio of factor of safety in slope stability analyses / S. Cavounidis // Geotechnique. – 1987. – Vol. 37, № 2. – P. 207–210.

14. Фоменко И.К. Преимущества методов оценки устойчивости в трехмерной постановке / И.К. Фоменко, О.В. Зеркаль // *Геотехника*. – 2011. – № 5. – С. 38–41.

15. Проблемы оползневой опасности Воробьевых гор и подходы к проектированию инженерной защиты / А.И. Харичкин, А.В. Иоспа, Д.Ю. Соловьев, Д.В. Чернятин, Д.Д. Бабич // *Геотехника*. – 2021. – Т. XIII, № 4. – С. 36–62. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-4-36-62

## References

1. Karpov B.N. Engineering protection of the city of Gorky. Gorky, Volgo-Vyat. book publishing house, 1979, 191 p.

2. Sobol I.S., Khokhlov D.N. Dangerous geological processes on the territory of Nizhny Novgorod: history, current state, experience of the prevention and elimination. *Construction and construction technologies. Collection of articles of the 78th All-Russian Scientific and Technical Conference*. Eds. M.V. Shuvalova, A.A. Pishuleva, A.K. Strelkova. Samara, 2021, pp. 529 – 534.

3. Batyanova N.L. Potentially dangerous landslide area in Nizhny Novgorod. *Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherka readings. Collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of Professor I.A. Pecherkin*. Perm, Perm State National Research University, 2019, pp. 142-153.

4. Batyanova N.L. Forecast of stability of the slopes of Pochainskaya gorge in Nizhny Novgorod for construction development. *Geoecology, engineering geodynamics, geological safety. Pecherkin readings. Collection of scientific articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference*. Perm, 2020, pp. 179-191.

5. Nikolkina I.F. and others. Potentially dangerous landslide zones on the banks of reservoirs in the Nizhny Novgorod region. *Proceedings of NSTU named R.E. Alekseeva*, 2013, no. 4 (101), pp. 157-166,.

6. Mardar I.A. Nizhny Novgorod landslides and methods of combating them. *Days of student science. Collection of reports of a scientific and technical conference on the results of research work of students of the Institute of Hydraulic and Energy Construction of the National Research University MSUCE*. Moscow, 2021. p. 144-150.

7. Kharichkin A.I. Extreme geotechnics. *In the collection: Proceedings of the VII Petrukhin's readings "NIIOSP. Yesterday, today, tomorrow"*. Moscow, JSC Research Center of Construction Publ.; 2023, pp. 128–140. DOI: 10.37538/2713-1149-2023-128-140.

8. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. *Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes*. Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam, 1954, pp. 43-49.

9. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*, 1955, no. 5, pp. 7-17.

10. Morgenstern N.R., Price V.E. The Analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 1965, no. 15(1), pp. 79-93.

11. Fomenko I.K., Zerkal O.V., Gorobtsov D.N. Modern means of quantitative assessment of slope stability. *Engineering-geological problems and methods for their solution: Materials of a scientific-practical conference*. Moscow, Geomarketing, 2017, pp. 94–101.

12. Sirotkina O.N., Fomenko I.K., Gorobtsov D.N. On the classification of mathematical methods for assessing local landslide hazard. *Collection of scientific papers based on materials of*

the II international scientific conference “Science of Russia: goals and tasks. Yekaterinburg, 2017, vol. 2, pp. 50–55. DOI: 10.18411/sr-10-04-2017-2.

13. Cavounidis S. On the ratio of factor of safety in slope stability analyses. *Geothnique*, 1987, vol. 37, no. 2, pp. 207-210.

14. Fomenko I.K., Zerkal O.V. Preimushhestva metodov ocenki ustojchivosti sklonov v trehmernoj postanovke [Advantages of slope stability assessment methods in 3D]. *Geotehnika*, 2011, no. 5, pp. 38-41.

15. Kharichkin A.I., Iospa A.V., Soloviev D.Yu., Chernyatin D.V., Babich D.D. Problems of landslide hazard at the Vorobyovy Gory and approaches to engineering protection design. *Geotechnics*, 2021, vol. XIII, no. 4, pp. 36–62. DOI: 10.25296/2221-5514-2021-13-4-36-62.