

Повышение устойчивости лестничных сходов в сложных инженерно-геологических условиях

С.А. Собчук, А.Б. Павликов, А.В. Каменчуков

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы устойчивости пешеходных дорожек и лестничных сходов, расположенных на косогорных участках и взаимодействующих со сложной геологической средой. Рассмотрены особенности проектирования объектов строительства на косогорных участках. Исследованы причины возникновения различных дефектов и разрушений на лестничном сходе, расположенном на набережной г. Хабаровск. Дана оценка устойчивости сооружения при выполнении ремонтных работ. Предложены мероприятия по повышению устойчивости сооружения.

Ключевые слова: лестничный сход, косогор, устойчивость склона, напряженно-деформированное состояние, укрепления.

Строительство и эксплуатация линейных объектов в сложных инженерно-геологических условиях сопряжено с множеством рисков и возникновением факторов, которые невозможно, в полной мере, оценить на стадии проектирования [1, 2]. В самом общем случае, при проектировании объектов на косогорных участках необходимо учитывать следующие факторы и условия [3 – 5]:

1. Характеристики и состав грунтов, влияющих на изменения напряженно-деформированного состояния склона;
2. Анизотропию свойств грунта и изменения поля порового в грунтовом массиве [5];
3. Геометрию склона, расположение геологических слоев и их неоднородность (слоистость и трещиноватость);
4. Характер внешних источников нагружения природного и техногенного происхождения.

После наводнения 2013 года лестничный сход на набережной г. Хабаровска расположенный в парковой зоне по адресу ул. Шевченко, 15. подвергся частичному разрушению, с образованием просадок, пучин и

выпираания лестничных ступеней, отслоение и трещины тротуарной плитки (рис. 1 и 2).

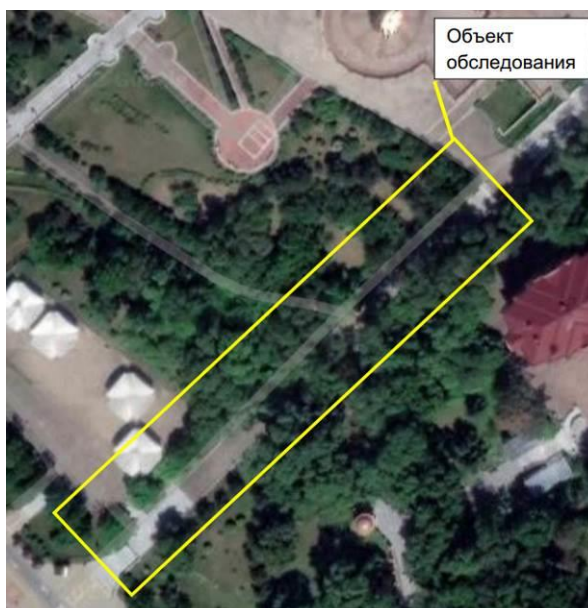


Рис. 1. – Общий вид сверху объекта исследования

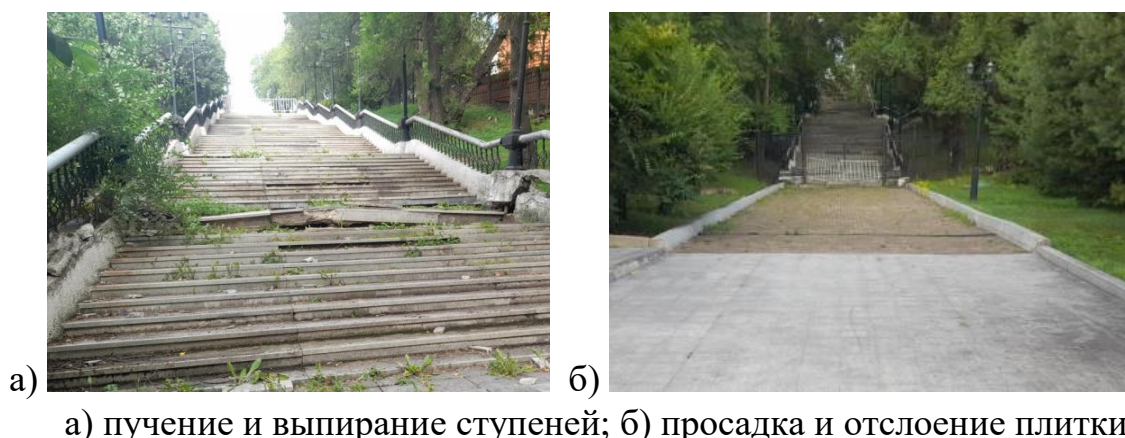


Рис. 2 – Общий вид и дефекты

Город Хабаровск расположен во II дорожно-климатической зоне с умеренным муссонным климатом. По показателям снегозаносимости он относится к районам II категории, где нормативная снеговая нагрузка составляет 1,1 кПа. Ветровое давление, согласно III ветровому району, равно 0,38 кПа. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, с вероятностью 0,92, составляет минус 29 °С. Сейсмическая активность в

районе строительства, согласно СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах, оценивается в 6 баллов.

Состояние лестничного схода оценивается как не удовлетворительное, для дальнейшей эксплуатации требуется выполнить ремонт строения. Для возможности эксплуатации сооружения необходимо оценить возможность потери устойчивости откоса при стадийном производстве сосредоточенных работ. Инженерно-геологическое строение склона представлено на рис. 3.

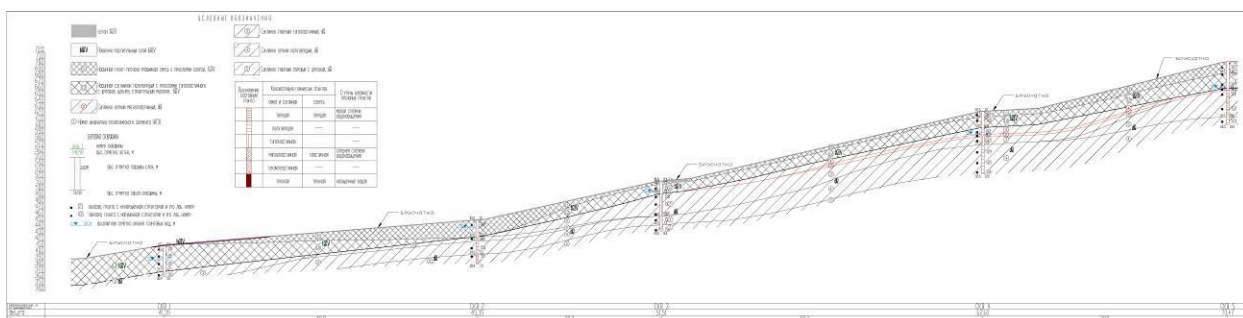


Рис. 3. – Схема инженерно-геологического строения склона

Устойчивость склона, на начальной стадии ремонтных работ, определена методом конечных элементов в программе Geo5 и оценивается как удовлетворительная, с коэффициентом устойчивости обводненного склона, равным 1,26. На склоне, в месте ремонта лестничного схода, действует постоянная равномерно распределенная нагрузка от собственного веса железобетонных конструкций лестничного схода равная $2,9 \text{ кН/м}^2$. Сооружению установлен III класс капитальности оползнезащитных мероприятий, в соответствии с ОДМ 218.2.006-2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог», необходимый коэффициент устойчивости составляет 1,20 [6].

По техническому заданию замере и восстановлению подлежит участок лестничного схода в основании склона. Ремонт предполагает снятие плит на площадке и бетонных ступеней первого и второго пролета, общей

протяженностью 32 м (между скв. 2 и скв. 3., см. рис. 3). Сложность инженерно-геологических условий заключается в близком расположении верховодных грунтовых вод (от 1,3 до 1,8 м от поверхности на рассматриваемом участке) и грунтами III группы пучинистости.

Применение методов математического моделирования на стадии назначения проектных решений позволяет оценить устойчивость склона на всех стадиях производства работ [7-9]. При разгрузке склона, путем разборки плит на площадке и бетонных ступеней первого и второго пролета, возникла вероятность оползания склона, так как нужно заменить (восстановить) песчано-цементную подушку под ступенями и площадкой на глубину 30 см, что приводит к подрезанию склона. В результате работ устойчивость склона приближается к критической величине и колеблется, в зависимости от способа производства работ, от 0,98 до 1,05, что является критическими показателями устойчивости сооружения.

Для повышения устойчивости склона, на стадии производства работ и дальнейшей эксплуатации сооружения, принято решение об укреплении склона грунтовыми нагелями в соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.5.126-2013 «Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работы». Характеристики грунтов и элементов армирования представлены в таблице 1 и 2.

Таблица № 1

Физико-механические характеристики грунтов

Наименование материала	Удельный вес, кН/м ²	Модуль упругости, МПа	Сцепление грунта, кПа	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент Пуассона
Насыпной грунт	21,20	55,0	0	32,2	0,25
Насыпной грунт с суглинком	19,40	52,2	4	32,5	0,30
Суглинок легкий мягкопластичный	19,40	13,5	15,9	14,3	0,40
Суглинок легкий тугопластичный	19,80	16,5	18,7	17,0	0,40

Суглинок дресвой	с	19,5	23,0	21,5	21,0	0,35
---------------------	---	------	------	------	------	------

Таблица № 2

Характеристики элементов укрепления откоса

Наименование материала	Диаметр, мм	Длина, м	Угол α , град	Рассеяние между нагелями, м	Модуль упругости (арматуры), МПа	Сопротивление разрыву, кПа
Нагели грунтовые	120	15	61,6	1,0	55000	61,6

Фундаментная часть сооружения находится в удовлетворительном состоянии, поэтому усиление фундамента лестничных сходов не предусмотрено. Демонтаж лестничных сходов рекомендуется проводить поэтапно сверху вниз с одновременным укреплением основания грунтовыми нагелями на глубину до 15 м. Площадка с верховой и низовой стороны пролета разбирается и закрепляется кустом грунтовых нагелей из 2 рядов по 5 нагелей с шагом 1 м между нагелями. Изменение коэффициента устойчивости склона до и после укрепления приведено в таблице 3.

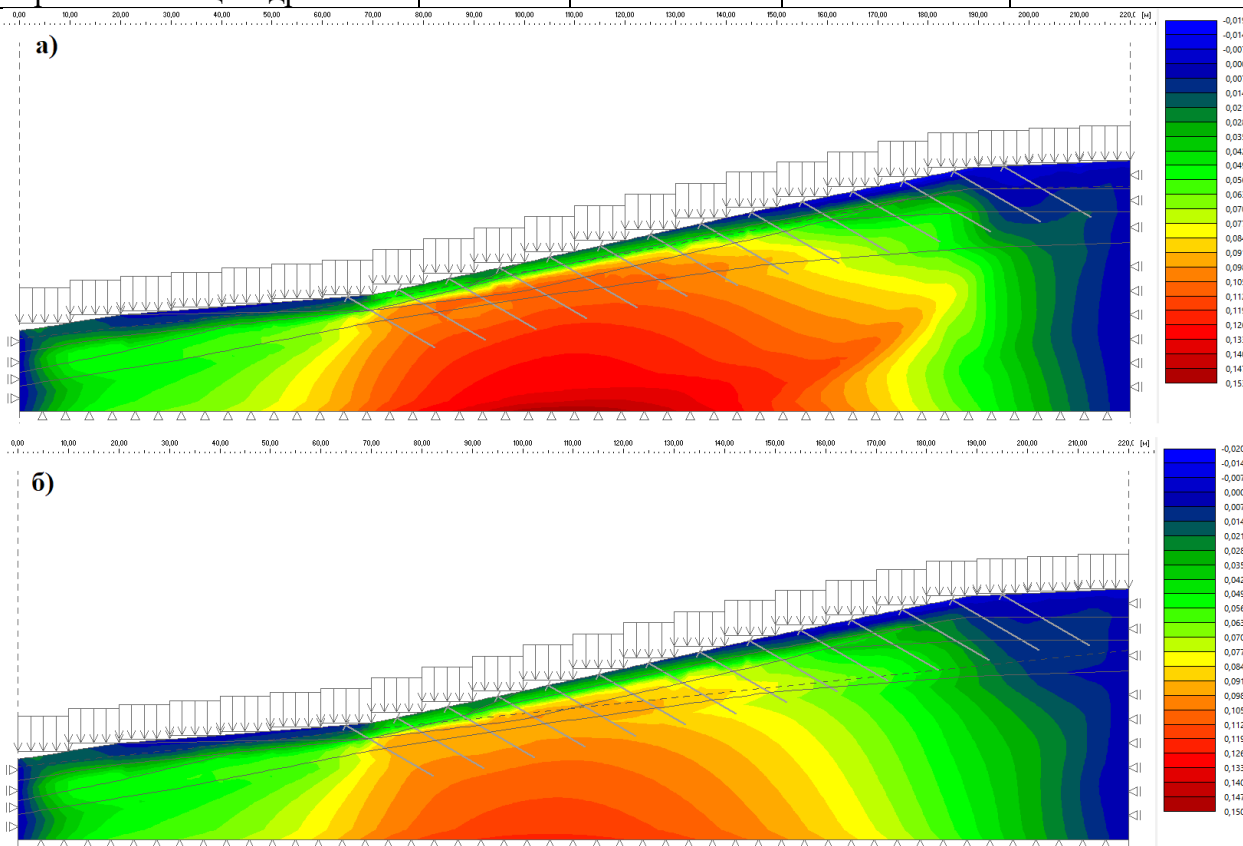
Дополнительным решением является устройство перехватывающего дренажа в верхней части склона, для отвода грунтовых вод. Применение программ численного моделирования, таких как Geo5, GeoStudio и других аналогов позволяет оценить изменение устойчивости склона на всех стадиях производства работ [7, 10, 11] При устройстве перехватывающего дренажа устойчивость склона повышается примерно на 30 % (таблица 3). График итоговых деформаций сдвига представлен на рис. 4.

Таблица № 3

Изменение коэффициента устойчивости склона

Наименование материала	До начала работ	После демонтажа лестничных сходов	После устройства работ по повышению устойчивости	После восстановления лестничных сходов
------------------------	-----------------	-----------------------------------	--	--

Нагели грунтовые	1,26	1,05	1,41	1,37
Нагели грунтовые с перехватывающим дренажом	1,26	1,15	1,56	1,61



а – укрепление грунтовыми нагелями; б – укрепление грунтовыми нагелями с устройством перехватывающего дренажа

Рис. 4. Предельные деформации сдвига в склоне

Применение средств математического моделирования позволило избежать, на стадии производства работ, проблем связанных с возможностью оплывания откоса из-за близкого расположения грунтовых вод и подрезки склона, на глубину до 0,5-0,7 м, вызванной необходимостью демонтажа покрытия и основание пешеходных дорожек и лестничных сходов для их реконструкции. Поэтапное применение комплекса мероприятий для фиксации склона и повышения несущей способности грунтов, за счет их осушения, позволит рассчитывать на то, что в ближайшее время объект вернется в эксплуатацию.

Литература

1. Истомин В.И. О научном подходе к расчетам устойчивости откосов грунтовых сооружений // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 12. – С. 39-41.

2. Туманов С.Л., Калиновский С.А., Фетисов Ю.М., Рисунов А.Р. Влияние геометрических параметров откосов и уступов грунтовых выемок на их устойчивость // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(53). – С. 86-91.

3. Михайлин А.А. Анализ устойчивости обрабатываемых влагонасыщенных склоновых почв // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4-1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/38.pdf_1182.pdf

4. Narabinova S., Kotrasova K., Kormanikova E., Hegedusova I. et al. Analysis of Slope Stability. // Civil and Environmental Engineering. - 2021. - Vol. 17. No.1. - pp. 192-199.

5. Бестужева А.С., Абдулов А.Б. Учет анизотропных свойств галечниковых грунтов в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 627-637.

6. Богомоллов А.Н., Богомоллова О.А., Шиян С.И., Кужель В.Н. Назначение коэффициентов запаса при расчете грунтовых откосов и оснований сооружений на устойчивость // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2010. – № 19(38). – С. 39-43.

7. Леханова К.В., Новодзинский А.Л. Сравнение численных и аналитических методов расчета устойчивости грунтовых откосов // Вестник Пермского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 45-50.

8. Михайлин А.А., Филонов С.В. Сравнительный анализ математических моделей устойчивости глубокоразрыхленных влагонасыщенных склонов //



Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2-1. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2942

9. Rotaru A., Bejan F., Almohamad D. Sustainable Slope Stability Analysis: A Critical Study on Methods. // Sustainability. - 2022. - Vol. 14. No.14. - pp. 8847.

10. Седусова Ю.А., Клевекко В.И. Определение устойчивости откоса грунтового массива с помощью программного комплекса "GeoStudio" // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. – Т. 2. – С. 53-58.

11. Fattahi H., Zandyilghani N. Slope stability analysis using Bayesian Markov chain Monte Carlo method. // Geotechnical and Geological Engineering. - 2020. - Vol. 38. - pp. 2609-2618.

References

1. Istomin V.I. O Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo. 2012. № 12. pp. 39-41.
2. Tumanov S.L., Kalinovskiy S.A., Fetisov YU.M., Risunov A.R. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2020. № 2(53). pp. 86-91.
3. Mikhaylin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4-1. URL:
ivdon.ru/uploads/article/pdf/38.pdf_1182.pdf
4. Harabinova S., Kotrasova K., Kormanikova E., Hegedusova I. et al. Civil and Environmental Engineering. 2021. Vol. 17. No.1. pp. 192-199.
5. Bestuzheva A.S., Abduloyev A.B. Vestnik MGSU. 2023. T. 18, № 4. pp. 627-637.
6. Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Shiyan S.I., Kuzhel' V.N. Vestnik Volgogradskogo okhrany avariyno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2010. № 19(38). pp. 39-43.
7. Lekhanova K.V., Novodzinskiy A.L. Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 1. pp. 45-50.



8. Mikhaylin A.A., Filonov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 2-1.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2942
9. Rotaru A., Bejan F., Almohamad D. Sustainability. 2022. Vol. 14. №14.
pp. 8847.
10. Sedusova YU.A., Kleveko V.I. Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve.
Teoriya i praktika. 2019. T. 2. pp. 53-58.
11. Fattahi H., Zandyilghani N. Geotechnical and Geological Engineering.
2020. Vol. 38. pp. 2609-2618.

Дата поступления: 17.03.2024

Дата публикации: 26.04.2024