

Источник изображения: Pixabay.com
The image source: Pixabay.com

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПО БОРЬБЕ С КАМНЕПАДАМИ НА НАЦИОНАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ В СЕВЕРНОЙ МАКЕДОНИИ

ЙОВАНОВСКИ М.

Факультет гражданского строительства
Университета Святых Кирилла и
Мефодия в Скопье, доктор наук,
г. Скопье, Республика Северная
Македония
jovanovski@gf.ukim.edu.mk

ПЕШЕВСКИ И.

Факультет гражданского строительства
Университета Святых Кирилла и
Мефодия в Скопье, доктор наук,
г. Скопье, Республика Северная
Македония

ПАПИЧ Й.

Факультет гражданского строительства
Университета Святых Кирилла и
Мефодия в Скопье, доктор наук,
г. Скопье, Республика Северная
Македония

АБАЗИ С.

Факультет гражданского строительства
Университета Святых Кирилла и
Мефодия в Скопье, г. Скопье,
Республика Северная Македония

АННОТАЦИЯ

Предлагаем вниманию читателей немного сокращенный и адаптированный перевод доклада «Практический опыт по борьбе с камнепадами на национальной дорожной сети в Северной Македонии» (Jovanovski et al., 2023), сделанного македонскими изыскателями на Национальной конференции по транспортной инфраструктуре с международным участием, проходившей в городе Несебр в Болгарии в октябре 2023 года. Этот доклад также был опубликован в виде статьи в журнале *Materials Science and Engineering* («Материаловедение и инженерия») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей поистине международной. Данная статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Jovanovski et al., 2023) приведена в конце.

Доля общего ущерба и убытков из-за камнепадов, оползней и наводнений продолжает увеличиваться, что оказывает значительное влияние на национальный бюджет Республики Северная Македония. В статье представлен накопленный за последнее время опыт применения мер по защите от камнепадов вдоль национальной дорожной сети Северной Македонии. Анализ этого опыта основан на конкретных примерах, в которых ключевым элементом для определения необходимых противокампнепадных мер является прогноз инженерно-геологических условий.

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с классами последствий по Еврокоду 7 и концепциями приемлемого уровня риска. Приведены предложения по определению приемлемого уровня риска путем объединения вероятности разрушения, коэффициента надежности и классов последствий.

Полученные результаты могут помочь в разработке и/или совершенствовании стратегий управления рисками в отношении камнепадов, оползней и наводнений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

склон; инженерно-геологические условия; прогноз; коэффициент устойчивости; вероятность разрушения; коэффициент надежности; классы последствий; приемлемый уровень риска; стратегии управления рисками.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Йовановски М., Пешевски И., Папич Й., Абазы С. Практический опыт по борьбе с камнепадами на национальной дорожной сети в Северной Македонии (пер. с англ.) // *Геоинфо*. 2024. Т. 6. № 5. С. 6–12
DOI:10.58339/2949-0677-2023-6-5-6-12

EXPERIENCES AND PRACTICES FROM APPLICATION OF ROCKFALL REMEDIAL WORKS AT MKD NATIONAL ROAD NETWORK

JOVANOVSKI M.

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, PhD, Skopje, Macedonia
jovanovski@gf.ukim.edu.mk

PESHEVSKI I.

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, PhD, Skopje, Macedonia

PAPIC J.

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, DSc (Engineering), Skopje, Macedonia

ABAZI S.

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Skopje, Macedonia

ABSTRACT

We present a slightly abridged and adapted translation of the report “Experiences and practices from application of rockfall remedial works at MKD national road network” (Jovanovski et al., 2023), which was made by Macedonian engineering surveyors at the National transport infrastructure conference with international participation in October 2023 in Nessebar (Bulgaria). This report was also published as an article in the journal “Materials Science and Engineering” by the publishing company of the British scientific society “Institute of Physics” (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Jovanovski et al., 2023) for the presented translation is given in the end.

Rockfalls, landslides and floods continue to have a growing share in the overall damages and losses, influencing considerably the national budget. Recent experiences and practices related to application of stabilization measures and remediation of rockfall zones along MKD national road network are presented in the article. Analyses are based on case histories where the prognosis of geotechnical conditions is a key element in definition of remedial measures for rock slopes.

Some issues related with the Consequence Classes, as suggested in Eurocode 7, and the concepts of the Acceptable Level of Risk are presented. Proposals in definition of the Acceptable Level of Risk, through combining the Probability of Failure, Reliability Index and Consequence Classes, are given in the article.

These findings can help in development and/or improvement of rockfall, landslide and flood risk management strategies.

KEYWORDS:

slope; geotechnical conditions; forecast; factor of safety; probability of failure; reliability index; consequence classes; acceptable level of risk; risk management strategies.

FOR CITATION:

Jovanovski M., Pesheviski I., Papic J., Abazi S. Prakticheskiy opyt po bor'be s kamnepadami na natsional'noy dorozhnoy seti v Severnoy Makedonii [Experiences and practices from application of rockfall remedial works at MKD national road network] (translated from English into Russian) // Geoinfo. 2024. Vol. 6. № 5. S. 6–12 DOI:10.58339/2949-0677-2023-6-5-6-12 (in Rus.).

Введение

Вдоль дорог часто происходят различные типы перемещений масс, такие как оползни и камнепады. Вместе с наводнениями на некоторых участках они приводят к значительным экономическим потерям и гибели людей [1]. Эти проблемы важны во всем мире, и для их комплексного решения необходимо разрабатывать соответствующие исследовательские проекты.

В Республике Северная Македония особое внимание уделяется общим рекомендациям по проектированию восстановления наиболее распространен-

ных типов повреждений транспортной и водной инфраструктуры, содержащихся в основном руководстве страны по улучшению восстановления [2]. Еще одним важным национальным документом является руководство по государственным дорогам [3], подготовленное международной консалтинговой компанией IMC Worldwide и поддержанное Всемирным банком, которое помогает политикам и лицам, принимающим решения, содействовать проектам по повышению устойчивости транспортной инфраструктуры к изменениям климата.

Опыт авторов, накопленный в отношении опасностей камнепадов, позволил сделать вывод, что все соответствующие риски необходимо минимизировать до приемлемого уровня с использованием постоянного правильного управления, во что должны быть вовлечены различные заинтересованные стороны [4–6].

С учетом сложности данных проблем в статье будут представлены возможные соотношения между коэффициентом устойчивости K_y , вероятностью разрушения P_p и коэффициентом надежности β для поиска так называемого при-

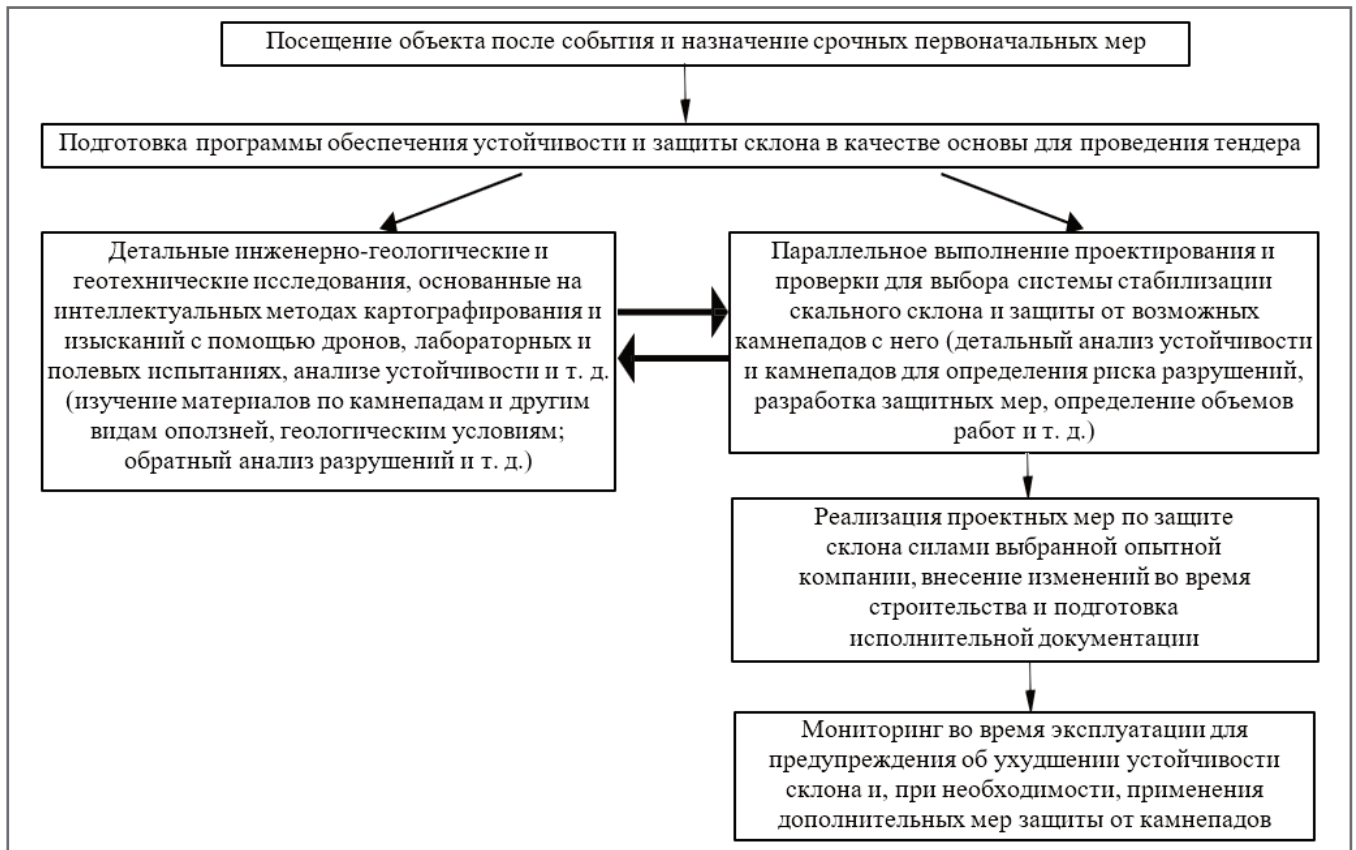


Рис. 1. Блок-схема, иллюстрирующая процесс решения проблем устойчивости склонов в Государственном дорожном управлении Северной Македонии [4]

емлемого уровня риска. Разработанная авторами методика в основном относится к камнепадам, но ее можно адаптировать и для решения других геотехнических задач.

Предлагаемая методика исследований ▶

Методика исследований основана на анализе типичных камнепадов и применяемых мер по борьбе с ними. Эти вопросы специфичны, поскольку все предпринимаемые меры связаны с некоторой неопределенностью входных параметров, которая зависит от большого разнообразия инженерно-геологических условий (геологического строения, неоднородностей, разрывов сплошности, анизотропии, напряжений, прочности грунтового массива, гидрогеологических условий и т. д.).

К числу других факторов неопределенности, которые необходимо учитывать при разработке защитных мер для участков дорог, проходящих под скальными склонами, относятся условия нагружения, поскольку они влияют на надежность анализа. Более того, иногда после какого-либо опасного события требуется срочное принятие необходимых мер. Обычный подход к менеджменту, применяемый

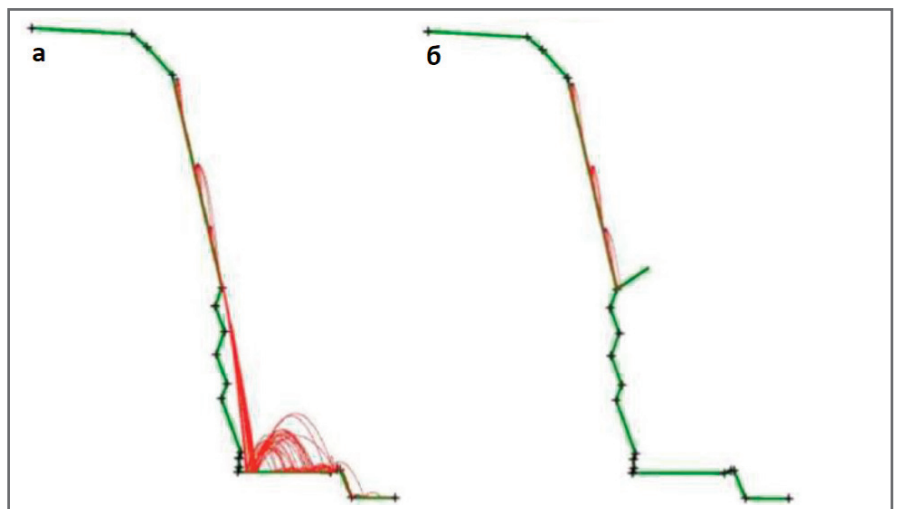


Рис. 2. Пример двумерного анализа камнепадов в программе Rockfall без противокамнепадного барьера (а) и с ним (б)

в Государственном дорожном управлении Северной Македонии, представлен на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что сразу после склонового события первым необходимым шагом является выезд на объект с целью назначения срочных временных (начальных) мер. После этого идут типичные этапы подготовки, исследований и проектирования в соответствии с программой обеспечения устойчивости и защиты склона, которые перекры-

ваются друг с другом, и принимаются необходимые меры. При этом во время эксплуатации требуется мониторинг, так как он должен подтвердить адекватность принятого и реализованного проектного решения.

Методика включает в себя обратный анализ прошлых событий, прогнозирование режимов разрушения, оценку прочности скальных грунтов и разрывов сплошности в них и т. д. Она основана на выполнении не-

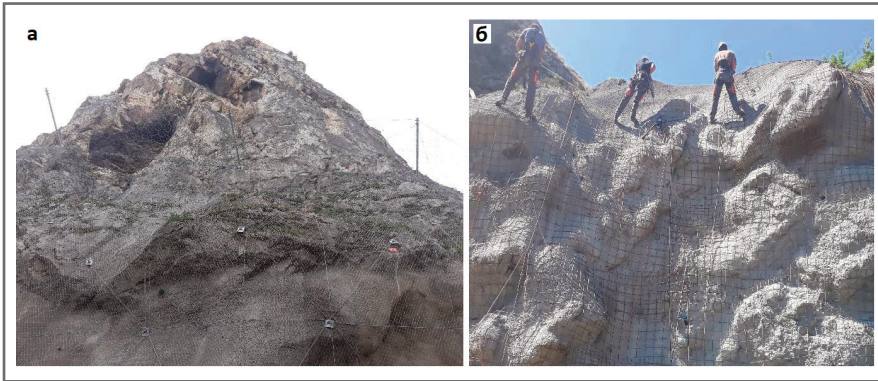


Рис. 3. Установленный противокамнепадный барьер в верхней части опасного склона в сочетании с защитным покрытием из проволочной сетки, закрепленной анкерными болтами (нагельями) в нижней части склона (а); особая техника установки несущих элементов (б)



Рис. 4. Применение противокамнепадных мер над участком дороги, ведущей из города Струмица в город Берово, с использованием специальных комбинаций проволочной сетки с анкерными болтами (нагельями) и стальными тросами

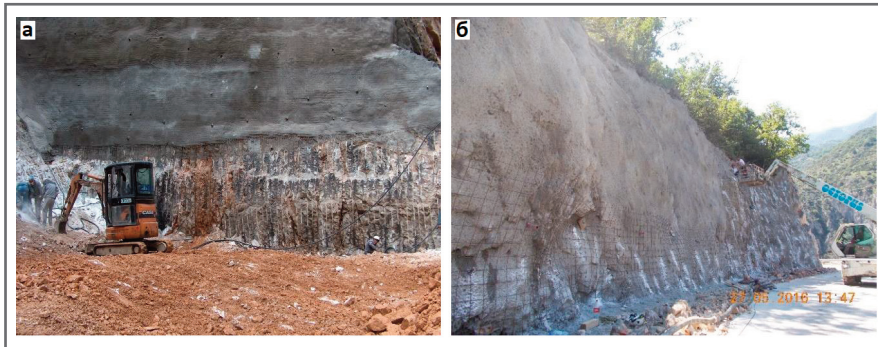


Рис. 5. Защита склонов над участком дороги, ведущей к арочной плотине Святой Петки, недалеко от города Скопье с использованием техники контролируемых (контурных) взрывных работ с последующим нанесением торкрет-бетона, укрепленного проволочной сеткой и анкерными болтами (нагельями)

скольких взаимосвязанных этапов действий с использованием следующих подходов:

- анализ возможных кинематических режимов разрушения;
- статистический анализ для определения функций распределения вероятностей для всех входных геотехнических параметров;
- определение коэффициента устойчивости;
- определение вероятности разрушения и коэффициента надежности;

- численный анализ с использованием метода конечных элементов для некоторых случаев;
- определение риска возникновения камнепадов или других видов оползневых событий;
- анализ эффективности затрат на применение мер по стабилизации и защите склона;
- определение приемлемого уровня риска.

Процедуры проектирования могут соответствовать различным стандар-

там или рекомендациям, но существует тенденция к тому, чтобы по мере возможности использовать анализ надежности, предложенный также в Еврокоде 7 [8].

Иногда настоятельно рекомендуется подготовить цифровую модель рельефа с использованием интеллектуальных технологий, которые обеспечивают простые и продуктивные картографирование и изыскания, в основном с использованием дронов. Полученные таким путем материалы затем служат основой для детального инженерно-геологического и структурно-геологического картирования, помогают определить потенциально нестабильные положения блоков скальных грунтов, их приблизительные объемы и кинематические условия разрушения массива. Анализ устойчивости склона, сложенного скальными грунтами с разрывами сплошности, должен выполняться с использованием вероятностного подхода, чтобы увидеть уровень исходной безопасности склона, получив значения коэффициента устойчивости K_y и вероятности разрушения P_p .

Помимо показателя P_p в качестве вероятностной меры безопасности также часто используется коэффициент надежности β . Если предположить, что после вероятностного анализа коэффициент устойчивости K_y имеет нормальное распределение, то для расчета величины β можно использовать следующее уравнение:

$$\beta = (\mu - 1) / \sigma, \quad (1)$$

где β – коэффициент надежности; μ – среднее значение K_y ; σ – стандартное отклонение K_y .

Можно заметить, что коэффициент надежности β представляет собой количество стандартных отклонений, которые отделяют среднее значение K_y от критической величины K_y . Значение β также можно рассчитать с помощью логнормального распределения.

Системы защиты критических участков дорог под скальными склонами состоят из нескольких основных элементов, применяемых в определенных местах в зависимости от ожидаемого характера разрушений.

Работы по стабилизации склонов и защите дорог под ними в основном заключаются в возведении противокамнепадных барьеров, устройстве грунтовых анкеров в сочетании со стальными тросами, нанесении торкрет-бетона в сочетании с металлическим сетчатым покрытием или завесой и анкерными бол-

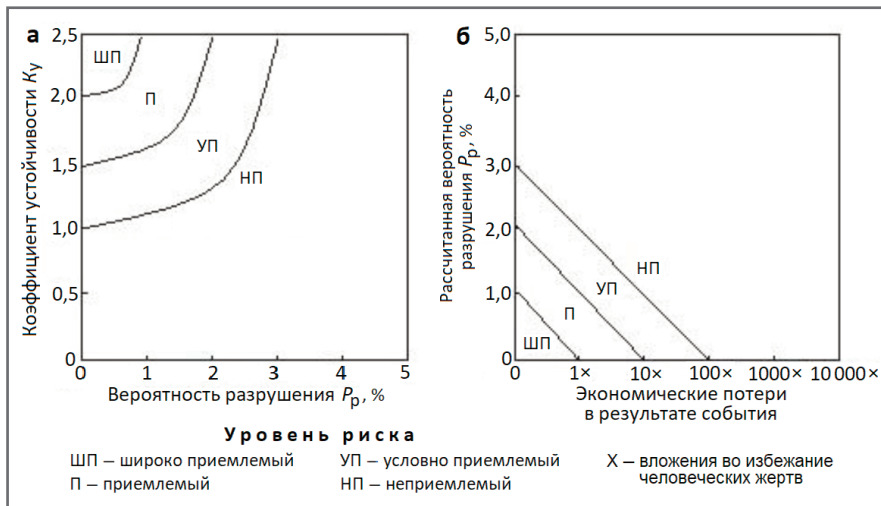


Рис. 6. Концепция определения приемлемого уровня риска: среднее значение коэффициента устойчивости склона в зависимости от вероятности его разрушения (а); вероятности разрушения склона и потенциальные экономические потери в случаях камнепадов (б)

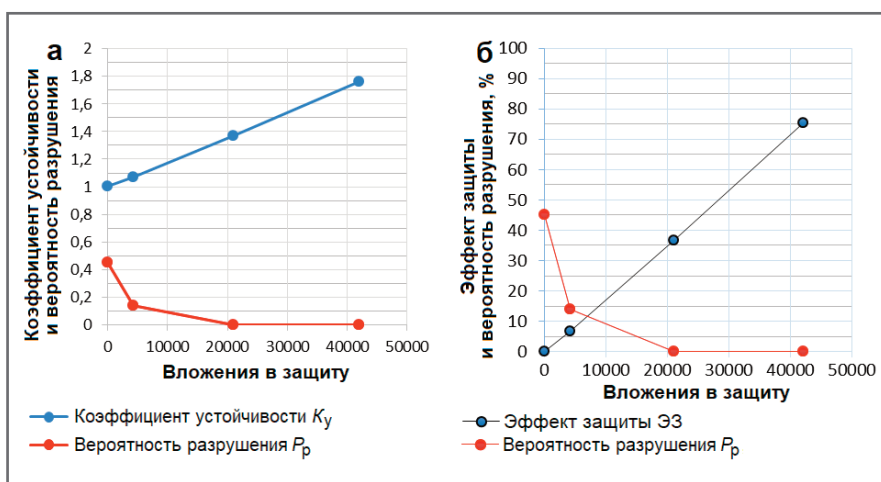


Рис. 7. Влияние финансовых вложений на коэффициент устойчивости K_y и вероятность разрушения P_p по данным для случая из практики, проанализированного в работе [7]

Таблица. Рекомендуемые авторами значения коэффициента надежности β и вероятности разрушения P_p для скальных склонов по отношению к классам последствий (СС) в Еврокоде 7

Класс последствий	Коэффициент надежности β	Вероятность разрушения P_p , %
Низкий – СС1	1,0–2,3	10–1
Нормальный (средний) – СС2	2,3–3,0	1–0,1
Высокий – СС3	3,0–5,0	0,1–0,0001

тами (нагельями), монтировании стальных сетчатых ограждений.

При анализе учитывается конкретный набор обстоятельств, таких как: объемы возможных камнепадов и их предполагаемое воздействие на инфраструктуру, условия и проблемы окружающей среды, расчетные нагрузки и т. д.

Противокампнепадные барьеры обычно проектируются с помощью анализа рисков и адекватного анализа возможных камнепадов.

На рисунках 2 и 3 отражен один из вариантов защиты дороги вблизи города Велес в конкретных условиях. Реализация противокампнепадных мер обычно происходит в условиях сложной

морфологии склонов, что в большинстве случаев требует применения специальных технологий монтажа (см. рис. 3, б).

Некоторые особенности применения противокампнепадных мер представлены на рисунках 4 и 5. Их реализация, как правило, является довольно сложным процессом.

Здесь необходимо найти оптимальный компромисс между приемлемым уровнем безопасности и экономичностью, что, возможно, является одной из основных задач с теоретической и практической точек зрения в дорожном и горном строительстве

На рисунке 6 обобщен опыт авторов в виде диаграмм, отражающих взаимосвязи между коэффициентом устойчивости K_y и вероятностью разрушения P_p , которые определяют несколько классов уровней риска. На рисунке 6, а показана связь между средними значениями K_y и величинами P_p , на рисунке 6, б – между рассчитанными значениями P_p и потенциальными экономическими потерями в случае камнепада. На обоих рисунках помечены зоны уровня риска: широко приемлемого (ШП), приемлемого (П), условно приемлемого (УП) и неприемлемого (НП).

Необходимо избегать попадания в зону НП или же сокращать ее независимо от затрат.

В зоне УП риски могут быть допустимыми, поскольку существуют варианты оптимизации решений.

Величина X на рисунке 6, б включает возможные экономические последствия и человеческие жертвы. На практике она связана с оценкой и страхованием экономических потерь и потерь жизней. Фактически термин «ценность жизни» должен быть заменен термином «вложения (инвестиции) во избежание человеческих жертв».

На рисунке 7 приведен простой способ определения так называемого эффекта защиты (ЭЗ), то есть эффекта от применения мер по увеличению коэффициента устойчивости K_y , для оценки приемлемого (допустимого) уровня риска с помощью следующего уравнения:

$$ЭЗ = (K_3 - K_H) / K_H, \quad (2)$$

где K_3 – это K_y после применения защитных мер; K_H – это начальное значение K_y до применения защитных мер.

Предложения авторов по дальнейшим работам связаны с включением коэффициента надежности β , несмотря на то что до сих пор нет единого мнения

относительно предлагаемого значения этого коэффициента и максимальной вероятности разрушения P_p для различных типов геотехнических сооружений, как это видно из работы [9], в которой приведены некоторые диапазоны указанных показателей.

Появились новые тенденции, которым следует следовать в ближайшем будущем. Например, в следующее поколение Еврокода 7 включен термин «классы последствий» (Consequence Classes – CC) [10].

В таблице представлены рекомендуемые авторами значения β и P_p (на основе данных, приведенных в работе [9]) для скальных склонов, где часто происходят камнепады. Эта таблица может быть полезна для выполнения анализов в будущем. Соответствующая обобщенная диаграмма представлена на рисунке 8. Один из примеров введения нужной величины эффекта защиты (ЭЗ) представлен на рисунке 9.

Можно рассчитать необходимый относительный уровень затрат для достижения зоны с приемлемым уровнем риска (зоны П, см. рис. 8), если принять, что диапазон требуемых значений коэффициента надежности $\beta_{\text{треб.}}$ для

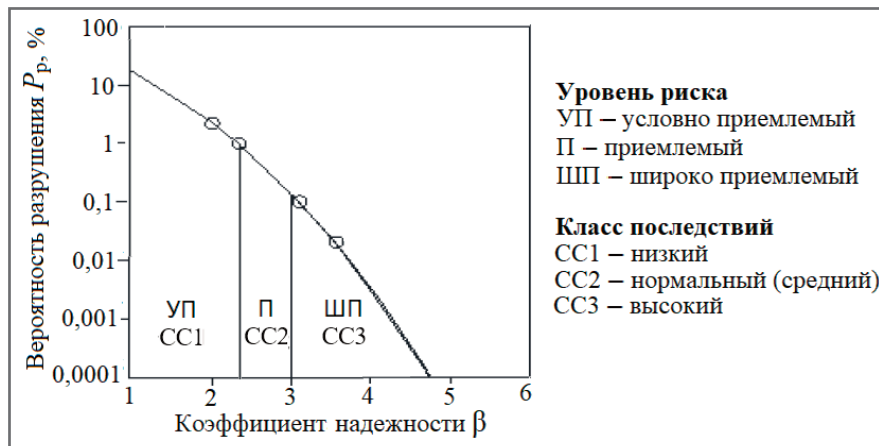


Рис. 8. Диаграмма, показывающая зоны риска в соответствии с рисунком 6 с указанием классов последствий по Еврокоду 7

нормального класса последствий (CC2, см. рис. 8) должен составлять 2,33–3,00. Поскольку начальный коэффициент надежности $\beta_{\text{нач.}}$ на рисунке 9 составляет 1,165, вложения должны быть примерно на 100–150% выше, чем в случае начальных значений для стабилизации склона, поскольку требуемый эффект защиты в соответствии с формулой (2):

$$\text{ЭЗ}_{\text{треб.}} = (2,33 - 1,165) / 1,165 = 1, \text{ или } 100\%.$$

Заключение

Приведенный анализ показывает, что любой практический опыт может быть полезен для развития новых идей, несмотря на то что каждый отдельный случай уникален и должен рассматриваться с учетом определенного набора обстоятельств. Принимаемые решения должны основываться не только на детальном анализе, но и на инженерных суждениях, полученных в результате практических и теоретических исследований рисков кам-

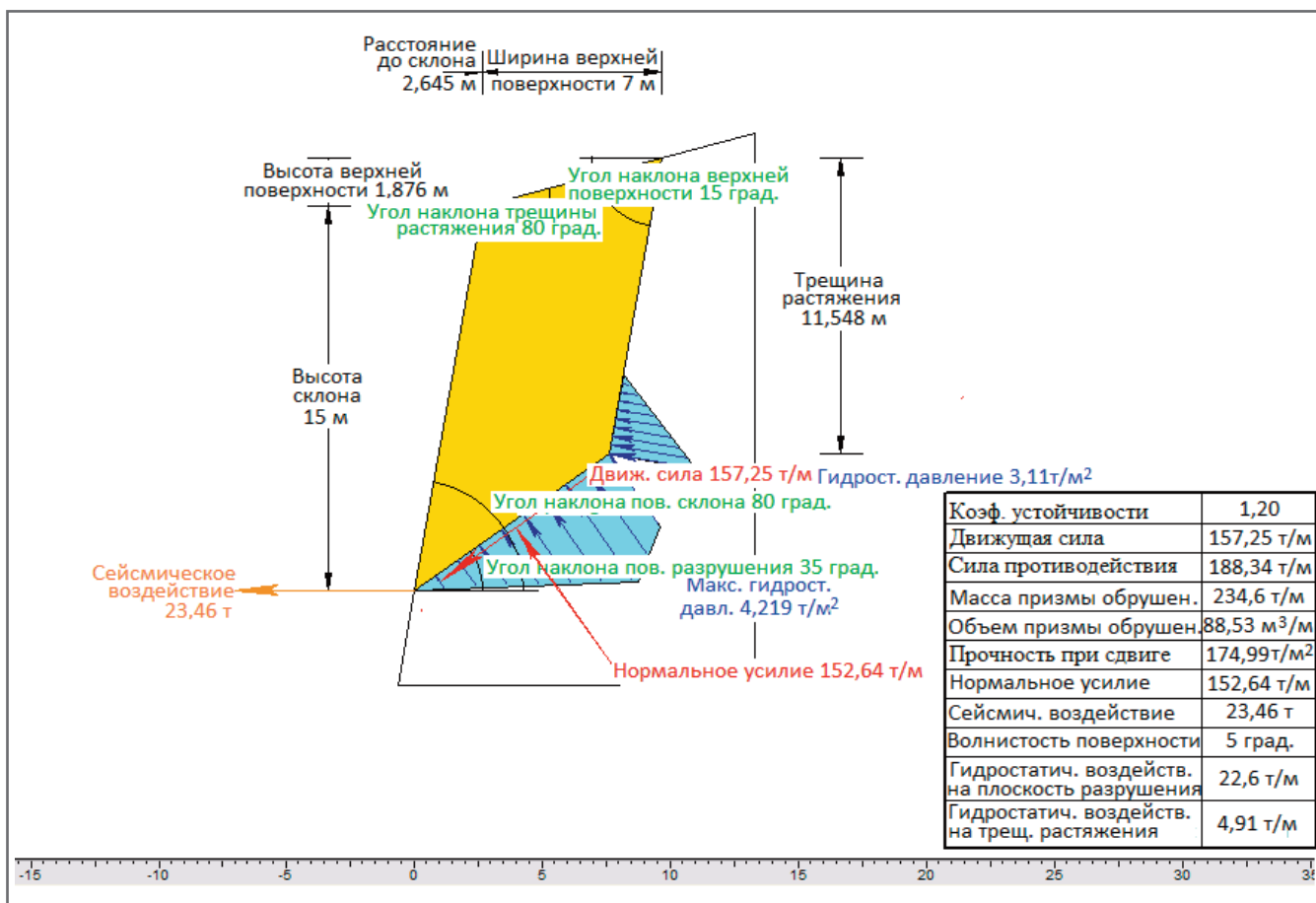



Рис. 9. Пример вероятностного анализа устойчивости склона над дорогой, ведущей к арочной плотине Святой Петки: вероятность разрушения P_p составляет 12%; коэффициент надежности, соответствующий нормальному классу последствий, равен 1,165, что находится в зоне условно приемлемого риска (УП) на рисунке 8

непадов и устойчивости склонов. Авторы полагают, что рассмотренный в статье опыт и предложенные подходы могут помочь найти более эффективные способы защиты от камнепадов с недостаточно стабильных в этом отношении склонов. 

Источник для перевода ▶

(Source for the translation) ▶

Jovanovski M., Peshevski I., Papic J., Abazi S. Experiences and practices from application of rockfall remedial works at MKD national road network // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2023. Vol. 129. Proceedings of the National transport infrastructure conference with international participation, 05.10.2023 – 07.10.2023, Nessebar, Bulgaria. № 1. Article 012010. DOI:10.1088/1757-899X/1297/1/012010. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1297/1/012010>

Список литературы, использованной авторами переведенной статьи ▶

(References used by the authors of the translated paper) ▶

1. Peshevski I. Landslide susceptibility modelling using GIS technology: PhD thesis. Skopje, Macedonia: Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, 2015.
2. Popovska C., Jovanovski M. Build back better manual: roadmap towards resilient transport and water infrastructure: EU Flood Recovery Programme, United Nation Developing Program. 2018.
3. Abolmasov B., Peshevski I., White J.R., Panov A.: Technical assistance preparation of climate resilience design: guidelines for the Public Enterprise for State Roads. Skopje, 2019.
4. Nikolov E., Jovanovski M., Janevski B., Peshevski I., Veleviski A., Milanovski M., Trajanovski V.: An Approach for rock slope protection on an area near City of Veles // Proceedings of the 5th Symposium of Macedonian Association for Geotechnics, ISRM Specialised Conference. Ohrid, 2022.
5. Jovanovski M., Dimitrov B. Experiences, methodology and principles for rock slope stabilisation: case for a road to arch dam “Sveta Petka”. Novi Sad: Savremena Gradjevinarska praksa, 2010.
6. Jovanovski M., Peshevski I., Papic J., Abazi S. An approach for slope protection on the access road to arch dam “Sveta Petka” in Republic of Macedonia. Sarajevo: Naucni skup, Geoexpo, 2017.
7. Peshevski I., Jovanovski M., Nedelkovska N., Lepitkova S. One approach in definition of acceptable level of risk for slopes in hard rocks // Proceedings of the 16th Danube – European Conference on Geotechnical Engineering, 07–09 June. Skopje, 2018.
8. Vagnon F, Bonetto S., Ferrero A.M., Harrison J.P., Umili G. Eurocode 7 and rock engineering design: the case of rockfall protection barriers // Geosciences. 2020. Vol. 10. № 8. Article 305. DOI:10.3390/geosciences10080305.
9. Fernandez W., Villalobos S., King R. Probabilistic analysis of slope stability in completely decomposed granite residual soils // Revista ingenieria de construccion. Vol. 33. № 1. Santiago, 2018. On-line version ISSN 0718-5073. URL: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100005>.
10. Franzen G., Garin H. Eurocode 7 – an updated framework to ensure reliable geotechnical solutions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 710. Proceedings of the 18th Nordic Geotechnical Meeting. Article 012035. DOI:10.1088/1757-1315/710/1/012035.



Телеграм-канал журнала

Независимый электронный журнал
Геоинфо

- Новости
- Статьи
- Обсуждения

<https://t.me/geoinfonews>