

КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ ОТВАЛОВ

В. В. ПЕНДИН, зав. кафедрой, проф., д-р геол.-минерал. наук
И. К. ФОМЕНКО, проф., д-р геол.-минерал. наук
Д. Н. ГОРОБЦОВ, доцент, канд. геол.-минерал. наук
М. Е. НИКУЛИНА, преподаватель, канд. геол.-минерал. наук,
 nikulinamari93@mail.ru

Российский государственный геологоразведочный университет
 им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Введение

Нарушение устойчивости грунтовых отвалов — одна из проблем горнодобывающих предприятий, имеющих большие экологические и экономические последствия [1, 2]. Согласно ГОСТу 25100-2011 [3], грунты отвалов относятся к техногенно перемещенным (перетолженным), т. е. природным грунтам, перемещенным тем или иным искусственным способом с места естественного залегания и подвергнутым при этом частичному преобразованию. Стандартные методики расчета часто оказываются несостоятельными при оценке устойчивости откосов отвалов, сложенных техногенными грунтами. Это в первую очередь связано с тем фактом, что распределение свойств в техногенных грунтах очень сложное в силу условий их формирования, установить которые не всегда представляется возможным. В связи с этим для получения адекватных результатов оценки устойчивости отвалов первостепенное значение приобретает схематизация распределения свойств техногенных отложений, слагающих тело отвала.

В статье рассматривается комплексная методика расчета устойчивости отвала [4], основанная на сравнении результатов, полученных по разным методикам [5]:

- по традиционной схеме, принятой в отечественной практике расчетов, когда в пределах выделенных инженерно-геологических элементов (ИГЭ) задаются расчетные характеристики свойств грунтов;
- на основе вероятностного анализа, когда неоднородность грунтов отвала учитывается с помощью вероятностных функций распределения физико-механических характеристик грунтов [6–10];
- с построением полей распределения свойств грунтов [11–15].

Дополнительно по данной схеме был осуществлен трехмерный расчет устойчивости грунтового отвала [14]. Количественная оценка устойчивости выполнена с использованием методов предельного равновесия (Бишопа [16], Янбу [17] и Моргенштерна — Прайса (М — П) [18]) и метода конечных элементов (МКЭ). Совместный анализ показателей устойчивости, определенных по всем перечисленным методам, повышает достоверность полученных результатов [19, 20].

Общие сведения об объекте исследований

Отвал сформирован из грунтов, образовавшихся при строительстве новых линий Московского метрополитена. Возраст

Показано, что при расчетах устойчивости склонов, сложенных техногенными грунтами, наибольший интерес представляет возможность применения моделей с построением полей распределения свойств грунтов на основе методов геостатистики.

Ключевые слова: оценка устойчивости, техногенные грунты, интерполяция свойств грунтов, коэффициент устойчивости, вероятностный анализ, объемное моделирование, неявное моделирование, статическое зондирование.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.17

отвала небольшой — около 2 лет, поэтому грунты в нем (преимущественно глинистые) недоуплотнены. Объем отвала — 150 тыс. м³, занимаемая площадь — 16 тыс. м². Мощность техногенных грунтов изменяется от 2,7 до 12 м.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в пределах пологоволнистой моренной равнины, слабо расчлененной, с хорошо разработанными речными долинами. Рельеф характеризуется абсолютными высотными отметками поверхности порядка 180,35–182,05 м.

В геологическом строении до разведанной глубины 20 м принимают участие четвертичные отложения, представленные техногенными перемещенными грунтами, аллювиальными, покровными, ледниковыми и меловыми отложениями.

Гидрогеологические условия характеризуются близким залеганием грунтовых вод, а также наличием большого числа водоносных горизонтов, гидравлически связанных друг с другом.

В пределах исследуемого участка грунты, слагающие тело отвала, представлены коричневым, слабоуплотненным, тугопластичным суглинком. Они были вскрыты при проведении исследовательских буровых работ во всех скважинах. При обследовании отвала была отмечена активизация оползневых процессов (рис. 1).

Расчетные схемы и результаты оценки устойчивости отвала

Как известно, показатели физических, химических и механических свойств техногенных грунтов, залегающих в отвале, сильно отличаются от показателей, образованных в природе грунтов. Распределение свойств в грунтах отвала характеризуется большой неоднородностью. По этой причине выделение различных по физико-механическим свойствам слоев и задание в их пределах расчетных характеристик представляет определенную сложность.

Учитывая вышесказанное, с целью оценки корректности закладываемых в расчет устойчивости отвала свойств грунтов моделирование было выполнено по следующим расчетным схемам:

- схема 1 — в качестве расчетных значений использовали значения прочностных и деформационных свойств грунтов, полученные в результате статистической обработки данных лабораторных исследований;



Рис. 1. Трещины закола на бровке откоса отвала

- схема 2 (вероятностный анализ) – в виде расчетных значений применяли нормативные значения прочностных свойств грунтов, полученные в результате статистической обработки данных по статическому зондированию;
- схема 3 – в качестве расчетных значений для техногенных грунтов использовали частные данные, полученные по результатам статического зондирования грунтов.

Ниже приведены результаты расчета устойчивости отвала по перечисленным схемам.

Расчет по схеме 1. Расчет устойчивости грунтового отвала по традиционной методике был выполнен методами предельного равновесия и конечных элементов. Итоговые геомеханические модели с результатами оценки устойчивости отвала по схеме 1 приведены на **рис. 2 и 3**.

Анализ результатов количественной оценки устойчивости отвала показал, что при заданных расчетных показателях грунтовой отвал находится в устойчивом состоянии (получено методами конечных элементов и Моргенштерна – Прайса), по методам Янбу и Бишопа – условно устойчив.

Расчет по схеме 2. С целью оценки влияния изменчивости прочностных свойств грунтов на устойчивость отвала был выполнен вероятностный анализ [9]. Консервативные, детерминистические методы расчетов устойчивости склонов, применяемые в отечественной практике, учитывают изменчивость свойств грунтов опосредованно, через использование в математических моделях их расчетных (в статистической терминологии) значений [8]. Полученные на основании подобных расчетов коэффициенты устойчивости склонов в действительности не определяют фактический уровень опасности, поскольку невозможно установить взаимосвязь между ними и вероятностью развития оползневой процесса [7].

Вероятностный анализ делает доступным проведение оценки оползневой опасности в терминах вероятности активизации процесса. Сущность данного метода заключается в определении вероятностной функции распределения коэффициента устойчивости склона, в зависимости от вероятностных функций распределения прочностных свойств грунтов [6, 8]. Несмотря на тот факт, что при расчетах устойчивости отвалов критерий, основанный на определении коэффициента устойчивости в настоящее время наиболее распространен, вероятностный анализ с каждым годом становится все более популярным [19].

В настоящей работе, закладываемые в расчет значения прочностных свойств грунтов были получены в результате статистиче-

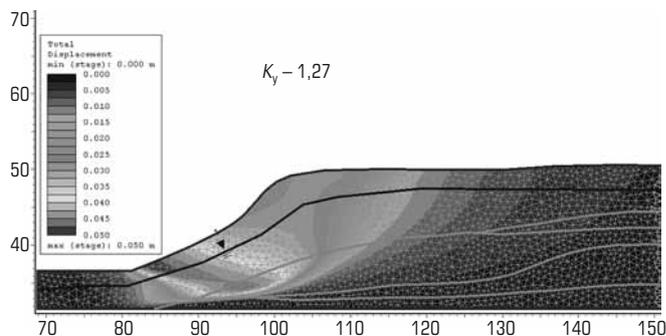


Рис. 2. Геомеханическая модель с результатами расчета по методу конечных элементов (схема 1)

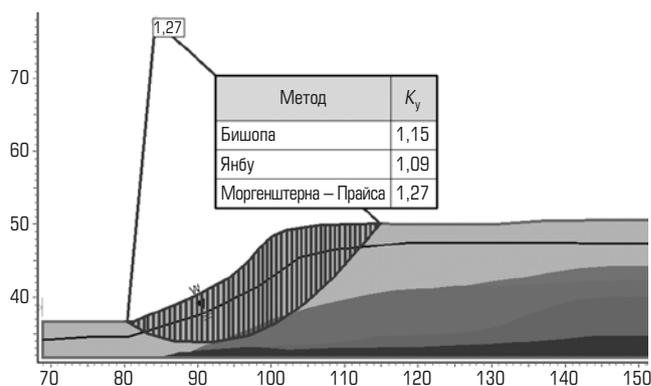


Рис. 3. Геомеханическая модель с результатами расчета по методу Моргенштерна – Прайса (схема 1)

Таблица 1. Результаты вероятностного анализа

Показатель	Метод расчета		
	М – П	Бишопа	Янбу
Среднее значение K_y	1,16	1,08	1,01
Вероятность развития оползневой процесса, %	1,7	2,7	37
Индекс надежности	2,1	1,9	0,34

ской обработки данных по статическому зондированию. Анализ результатов расчета (**табл. 1**) показывает, что вероятность развития оползневой процесса на склоне отлична от нуля (получено всеми методами), а по результатам расчета методом Янбу она оценена как высокая (37 %).

На графике (**рис. 4**) приведена зависимость сцепления от угла внутреннего трения при $K_y = 1$ (полученная на основании расчета по методу Янбу). Данная зависимость может рассматриваться как критерий устойчивости изучаемого отвала. При прочностных параметрах, лежащих ниже линии, показанной на графике, склон является неустойчивым.

Расчет по схеме 3. При расчетах устойчивости грунтовых склонов наибольший интерес представляет возможность применения моделей с построением полей распределения свойств грунтов [5, 11–15, 21, 22]. Данный подход является результатом переноса в область геомеханики хорошо зарекомендовавшей себя при оценке запасов полезных ископаемых и построении

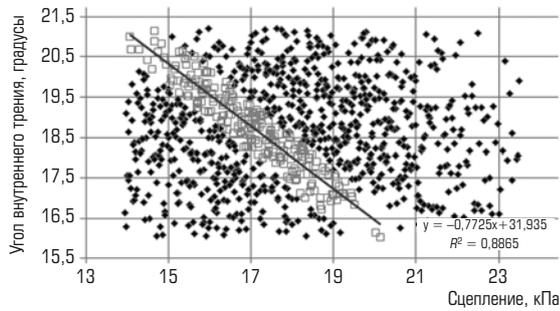


Рис. 4. График зависимости между сцеплением и углом внутреннего трения при $K_y=1$ (метод Янбу)

геолого-структурных моделей месторождений методики имплицитного (неявного) моделирования [23]. Основное преимущество неявного моделирования заключается в том, что построение поля распределения исследуемого параметра, замеренного в известных точках (например, на основании интервального опробования скважин или статического зондирования) основано на методах геостатистики и тем самым лишено субъективизма.

На рис. 5 и 6 приведены геомеханические модели распределения прочностных свойств грунтов, полученные на основе интерполяции данных обработки результатов статического зондирования. Анализ моделей позволяет сделать вывод о необоснованности выделения техногенных грунтов в один ИГЭ, так как и по полю распределения угла внутреннего трения, и по полю распределения сцепления в этих грунтах наблюдается слоистость.

Итоговые геомеханические модели с результатами оценки устойчивости отвала по схеме 3 приведены на рис. 7 и 8. Анализ результатов, полученных по этой расчетной схеме, показал, что при прочностных показателях, определенных по данным статического зондирования, отвал условно устойчив (получено методами конечных элементов, Моргенштерна – Прайса и Бишопа), по методу Янбу – неустойчив. Потенциально неустойчивая часть отвала характеризуется некоторым уменьшением объема в сравнении с результатами, полученными по схеме 1: (приведенный объем (на 1 м) по методу М – П рассчитанный по схеме 1, составляет 237,7 м², по схеме 3 – 187,1 м²).

Учитывая фактическое состояние склона (по результатам выполненного полевого обследования склон находится в состоянии предельного равновесия) расчеты, выполненные по схеме 3, представляются более объективными. Сопоставление результатов, полученных по расчетным схемам 1 и 3, представлено в табл. 2.

Для оценки объективности полученных результатов для расчетной схемы 3 было выполнено объемное моделирование устойчивости склона методами предельного равновесия. При переходе от двумерной модели оползневой поверхности скольжения к трехмерной следует учитывать тот факт, что меняется концепция описания формы поверхности скольжения. Поверхность скольжения (ПС), близкая к круглоцилиндрической, при расчете в двумерной постановке не является аналогом эллипсоидальной ПС при объемном моделировании [8]. Важным преимуществом трехмерной оценки устойчивости склонов является тот факт, что полученный расчет позволяет прогнозировать развитие оползневой поверхности не только по глубине проникновения (в массиве), но и в плане [14].

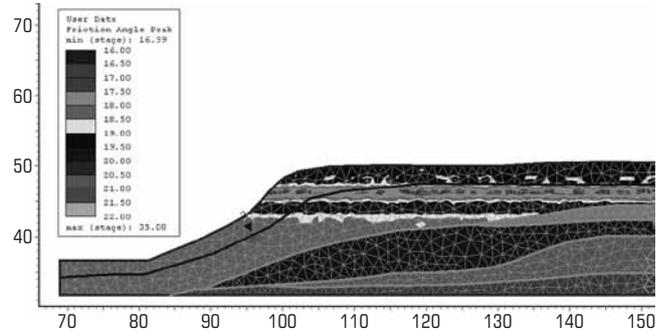


Рис. 5. Модель распределения угла внутреннего трения техногенных грунтов

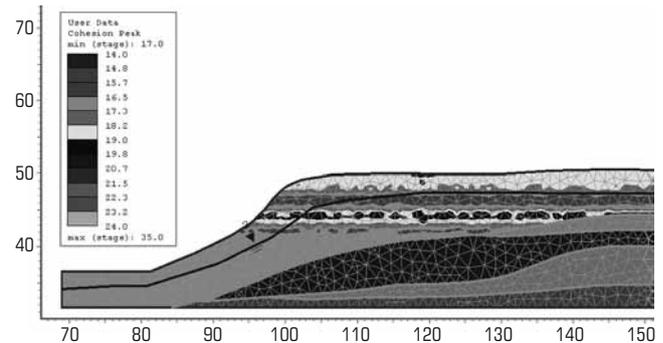


Рис. 6. Модель распределения сцепления техногенных грунтов

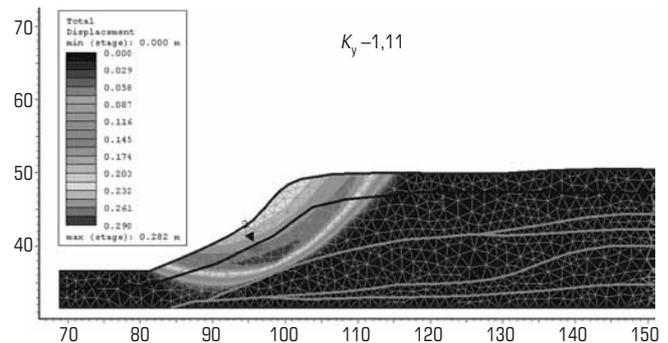


Рис. 7. Геомеханическая модель с результатами расчета по методу конечных элементов (схема 3)

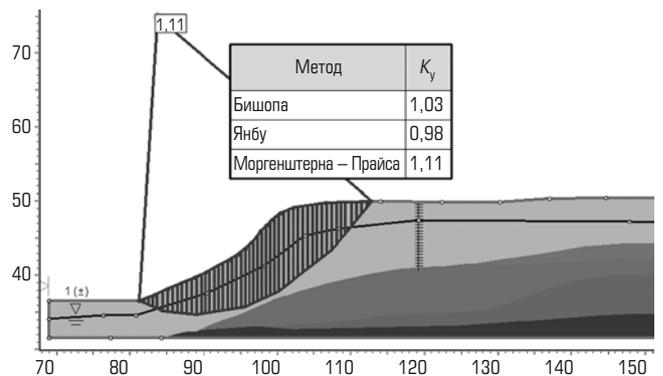


Рис. 8. Геомеханическая модель с результатами расчета по методу Моргенштерна – Прайса (схема 3)

Таблица 2. Значения коэффициента устойчивости отвала K_y

Расчетная схема	Метод расчета М – П	Бишопа	Янбу	МКЭ
Схема 1	1,27	1,15	1,09	1,27
Схема 3	1,11	1,035	0,98	1,11

В результате моделирования установлено, что при объеме оползневого тела 27 тыс. м³ коэффициент устойчивости отвала составляет: по методу Моргенштерна – Прайса (М – П) – 1,09; по методу Бишопа – 1,07 и по методу Янбу – 1,06.

Весьма неожиданным является факт уменьшения K_y , рассчитанного методом М – П в трехмерном варианте по отношению к плоской постановке задачи. Тем самым вывод А. В. Скемптона [24], что в случае моделирования устойчивости склонов в трехмерной постановке происходит увеличение прочности на сдвиг на 5 %, в данном расчете не подтвердился.

Таким образом, при разработке мероприятий по инженерной защите от оползневого процесса, при использовании данных расчета K_y в двумерной постановке предпочтительней ориентироваться на менее строгие методы Бишопа и Янбу.

Заключение

В статье была использована комплексная методика при расчете грунтовых отвалов, основанная как на сочетании различных методов расчета (пределного равновесия и МКЭ), так и на сравнении различных моделей, учитывающих неоднородность техногенных грунтов, слагающих тело отвала.

Несмотря на тот факт, что по традиционной схеме расчета отвал находится в устойчивом состоянии, на основе вероятностного анализа была показана возможность обрушения откосов отвала (вероятность развития оползневого процесса на склоне отлична от нуля (получено всеми расчетными методами)). Для исследуемого отвала также был определен критерий, определяющий его устойчивое состояние (в зависимости от сочетания прочностных свойств техногенных грунтов).

Выполненные расчеты доказали перспективность применения при оценке устойчивости грунтовых отвалов моделей с построением полей распределения свойств грунтов на основе методов неявного моделирования.

Библиографический список

- Ильин С. А., Пастухин Д. В. Состояние и перспективы развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отдельный выпуск 1. Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка-2013». С. 364–383.
- Житинская О. М., Ярз Л. А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 1. С. 49–61.
- ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. Введ. 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2013. – 30 с.
- Mayer J. M., Stead D. A Comparison of Traditional, Step-Path, and Geostatistical Techniques in the Stability Analysis of a Large Open Pit // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2017. Vol. 50. Iss. 4. P. 927–949.
- Буфеев Ф. К., Фоменко И. К., Сироткина О. Н. Влияние методов интерполяции прочностных свойств грунтов на результаты расчета устойчивости склонов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4(46). С. 127–133.
- Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology. – Calgary: GEO-SLOPE International Ltd., 2004. – 396 p.
- Зеркаль О. В., Фоменко И. К. Влияние различных факторов на результаты вероятностного анализа активизации оползневых процессов // Инженерная геология. 2016. № 1. С. 16–22.
- Пендин В. В., Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. – М.: Ленанд, 2015. – 320 с.
- Griffiths D. V., Fenton G. A. Probabilistic Slope Stability Analysis by Finite Elements // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2004. Vol. 130. Iss. 5. P. 507–518.
- Годовников Н. А., Дунаев В. А. Вероятностный метод прогнозирования потенциальных деформаций уступов карьера в массивах скальных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 5. С. 81–83.
- Javankhoshdel S., Bathurst R. J. Simplified probabilistic slope stability design charts for cohesive and cohesive-frictional (c-φ) soils // Canadian Geotechnical Journal. 2014. Vol. 51. No. 9. P. 1033–1045.
- Javankhoshdel S., Luo N., Bathurst R. J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2017. Vol. 11. Iss. 3. P. 231–246.
- Slide 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes: Sample Problems / Rocscience. – 59 p.
- 3D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis: Introducing Slide 3 / Rocscience, 2017. – 5 p.
- Tabarrokhi M., Ahmad F., Banaki R., Jha S., Ching J. Determining the Factors of Safety of Spatially Variable Slopes Modeled by Random Fields // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2013. Vol. 139. Iss. 12. P. 2082–2095.
- Bishop A. W. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes // Géotechnique. 1955. Vol. 5. Iss. 1. P. 7–17.
- Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis // Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. – Stockholm, 1954. P. 43–49.
- Morgenstern N. R., Price V. E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces // Géotechnique. 1965. Vol. 15. Iss. 1. P. 79–93.
- Duncan J. M., Wright S. G., Brandon T. L. Soil Strength and Slope Stability. 2nd ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 336 p.
- Hammah R., Yacoub T., Corkum B., Curran J. A Comparison of Finite Element Slope Stability Analysis with Conventional Limit-Equilibrium Investigation // Proceedings of the 58th Canadian Geotechnical Conference. – Saskatchewan, 2005.
- Allan F. C., Yacoub T. E., Curran J. H. On Using Spatial Methods for Heterogeneous Slope Stability Analysis // Proceedings of the 46th U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. – New York: Curran Associates, Inc., 2012. Vol. 3. P. 2203–2211.
- Cho S. E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability // Engineering Geology. 2007. Vol. 92. Iss. 3-4. P. 97–109.
- Cowen E. J., Beatson R. K., Ross H. J., Fright W. R., McLennan T. J. et al. Practical Implicit Geotechnical Modelling // Proceedings of the 5th International Mining Geology Conference. – Carlton: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2003. P. 89–99.
- Skempton A. W. Residual strength of clays landslides, folded strata and the laboratory // Géotechnique. 1985. Vol. 35. Iss. 1. P. 3–18. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 92–95
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.17

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Integrated modeling of waste dump slope stability

Information about authors

V. V. Pendin¹, Head of Chair, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
I. K. Fomenko¹, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
D. N. Gorobtsov¹, Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences
M. E. Nikulina¹, Lecturer, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, nikulinamari93@mail.ru

Abstract

Instability of waste dumps is one of the problems with large ecological and economic consequences in mining. Standard calculation procedures fail to estimate stability of slopes of mining waste dumps. This article considers an integrated slope stability estimation procedure based on the comparison of the data obtained in the traditional calculation scheme (when estimated characteristics of waste properties are set within the delineated geotechnical elements); from the probabilistic analysis (when nonuniformity of waste materials is taken into account using probabilistic functions of distribution of physical and

mechanical properties); and by plotting the distribution fields of waste properties. Furthermore, 3D modeling of dump slope stability was performed using the methods of limit equilibrium (Bishop, Janby and Morgenstern–Price) and finite elements.

The conventional calculation of waste dump slope stability shows that the dump is stable subject to the preset design parameters according to FEM and Morgenstern–Price method and is conditionally stable by Janby and Bishop. In the meanwhile, the probabilistic analysis shows the probability of landslide (according to all methods), and the Janby methods even estimates the landslide probability as high (37 %).

The implicit modeling analysis points at the invalidity of estimating mining waste as a single geotechnical element since both internal friction angle distribution and cohesion distribution fields in waste dumps show stratification. From the evidence of the analysis, under the strength characteristics obtained by static probing, the dump is stable according to FEM and Morgenstern–Price method and is unstable by Janby.

Objectiveness of the results was estimated by 3D modeling of waste dump slope stability using the methods of limit equilibrium. Surprisingly, K_s calculated by Morgenstern–Price was lower in 3D variant than in 2D formulation.

Keywords: stability assessment, mining waste, properties interpolation, stability coefficient, probabilistic analysis, 3D modeling, implicit modeling, static probing.

References

1. Iyin S.A., Pastikhin D. V. State and prospects of development of the open method of development of deposits reached-owned resources. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2013. Special issue 1. Proceedings of international scientific symposium "Miner's Week-2013". pp. 364–383.
2. Zhitinskaya O. M., Yarg L. A. Changes in the components of the natural environment with the long-term development in the opencast mines (the case of KMA). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2018. No. 1. pp. 49–61.
3. GOST 25100–2011. Soils. Classification. Introduced: 01.01.2013. Moscow : Standartinform, 2013. 30 p.
4. Mayer J. M., Stead D. A comparison of traditional, step-path, and geostatistical techniques in the stability analysis of a large open pit. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2017. Vol. 50, Iss. 4. pp. 927–949.
5. Buefev F. K., Fomenko I. K., Sirotkina O. N. Influence of interpolation methods for strength properties of the soil on the results of calculation of slope stability. *International Research Journal*. 2016. No. 4(46). pp. 127–133.
6. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology. Calgary : GEO-SLOPE International Ltd., 2004. 396 p.
7. Zerkal O. V., Fomenko I. K. Influence of various factors on the results of probabilistic analysis of landslide activation. *Engineering Geology*. 2016. No. 1. pp. 16–22.
8. Pendin V. V., Fomenko I. K. Methodology of Landslide Hazard Estimation and Prediction. Moscow : Leonand, 2015. 320 p.
9. Griffiths D. V., Fenton G. A. Probabilistic Slope Stability Analysis by Finite Elements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2004. Vol. 130, Iss. 5. pp. 507–518.
10. Godovnikov N. A., Dunaev V. A. A probabilistic method of predicting potential deformations of the ledges in solid rock. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2015. No. 5. pp. 81–83.
11. Javankhoshdel S., Bathurst R. J. Simplified probabilistic slope stability design charts for cohesive and cohesive-frictional (c-φ) soils. *Canadian Geotechnical Journal*. 2014. Vol. 51, No. 9. pp. 1033–1045.
12. Javankhoshdel S., Luo N., Bathurst R. J. Probabilistic analysis of simple slopes with cohesive soil strength using RLEM and RFEM. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. 2017. Vol. 11, Iss. 3. pp. 231–246.
13. Slide 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes: Sample Problems. *Rocscience*. 59 p.
14. 3D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis: Introducing Slide 3. *Rocscience*, 2017. 5 p.
15. Tabarrok M., Ahmad F., Banaki R., Jha S., Ching J. Determining the Factors of Safety of Spatially Variable Slopes Modeled by Random Fields. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2013. Vol. 139, Iss. 12. pp. 2082–2095.
16. Bishop A. W. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*. 1955. Vol. 5, Iss. 1. pp. 7–17.
17. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. *Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes*. Stockholm, 1954. pp. 43–49.
18. Morgenstern N. R., Price V. E. The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Géotechnique*. 1965. Vol. 15, Iss. 1. pp. 79–93.
19. Duncan J. M., Wright S. G., Brandon T. L. Soil Strength and Slope Stability. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, Inc., 2014. 336 p.
20. Hammah R., Yacoub T., Corkum B., Curran J. A Comparison of Finite Element Slope Stability Analysis with Conventional Limit-Equilibrium Investigation. *Proceedings of the 58th Canadian Geotechnical Conference*. Saskatchewan, 2005.
21. Allan F. C., Yacoub T. E., Curran J. H. On Using Spatial Methods for Heterogeneous Slope Stability Analysis. *Proceedings of the 46th U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium*. New York : Curran Associates, Inc., 2012. Vol. 3. pp. 2203–2211.
22. Cho S. E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability. *Engineering Geology*. 2007. Vol. 92, Iss. 3–4. pp. 97–109.
23. Cowen E. J., Beatson R. K., Ross H. J., Frigh W. R., McLennan T. J. et al. Practical Implicit Geological Modelling. *Proceedings of the 5th International Mining Geology Conference*. Carlton : The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2003. pp. 89–99.
24. Skempton A. W. Residual strength of clays landslides, folded strata and the laboratory. *Géotechnique*. 1985. Vol. 35, Iss. 1. pp. 3–18.



Дорогие друзья!

От имени Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия» хочу поздравить с замечательным праздником!

Со времен основания Московской горной академии горняки и геологи всегда плечом к плечу трудились на благо своей Родины, осваивали и эксплуатировали новые месторождения полезных ископаемых, обеспечивали независимость страны, развивая минерально-сырьевой комплекс и играя большую роль в реализации национальных проектов.

Профессиональное братство двух профессий горняка и геолога позволяло научным школам и профессиональным сообществам решать самые сложные задачи. Сегодня, в век, когда технологические и социальные изменения происходят очень быстро, мы все особенно нуждаемся в партнерской поддержке, чтобы новое поколение горных инженеров геологов и горняков своим трудом снискали славу своим учителям-профессорам, свои университетам, своей Родине – России.

От души желаю коллективу Российского государственного геологоразведочного университета благополучия, творческих успехов, новых грандиозных проектов!

В. Л. Петров,

Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия», проректор по учебной работе НИТУ «МИСиС», проф., д-р техн. наук