

УДК 622.271.333:622.83

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ ПРИ КРУТОПАДАЮЩЕМ ЗАЛЕГАНИИ СЛОЕВ



С. В. ЦИРЕЛЬ,
старший научный сотрудник, д-р техн. наук



А. А. ПАВЛОВИЧ,
зав. лабораторией, канд. техн. наук,
pavlovich_aa@pers.spmi.ru



Н. Я. МЕЛЬНИКОВ,
научный сотрудник, канд. техн. наук

Научный центр геомеханики и проблем горного производства,
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Введение

В настоящее время определение предельных параметров бортов, позволяющих обеспечить их устойчивость, является весьма важной задачей для безаварийной отработки месторождений открытым способом.

На сегодняшний день разработано множество методов расчетов устойчивости откосов, основанных на методе предельного равновесия [1, 2]. Причем наибольшее распространение

Приведены результаты исследований по разработке методики оценки устойчивости откосов с обратной крутопадающей слоистостью методами физического и численного моделирования.

Данная методика позволяет одновременно учитывать как несущую способность откосов, так и развитие смещений по земной поверхности и определять параметры карьера до начала образования трещин.

Ключевые слова: борт карьера, физическое моделирование, метод конечных элементов, алгебраическое сложение сил, слоистость, коэффициент запаса, смещение, опрокидывание

DOI: 10.17580/gzh.2023.05.07

получило направление, предполагающее, что условие предельного равновесия удовлетворяется не во всех точках массива, а лишь по ее внутренней границе (по поверхности скольжения). Несущая способность откоса вдоль данной границы определяется соотношением сдвигающих и удерживающих сил.

Однако с развитием добычи полезных ископаемых в разработку месторождений открытым способом вовлекается все больше месторождений с более сложными горно-геологическими условиями, среди которых следует отметить месторождения с крутопадающей слоистостью [3–8]. В таких условиях наибольшие сложности при расчетах возникают при оценке устойчивости бортов с обратным падением слоев (направленных в массив) [9, 10]. Это связано с тем, что раскрытие трещин на земной поверхности прибортового массива наблюдается задолго до его разрушения, и для нормальной эксплуатации борта карьера необходимо оценить не только его несущую способность, но и величину развивающихся деформаций (**рис. 1**).

Поэтому применение только методов предельного равновесия для обоснования параметров бортов карьеров при

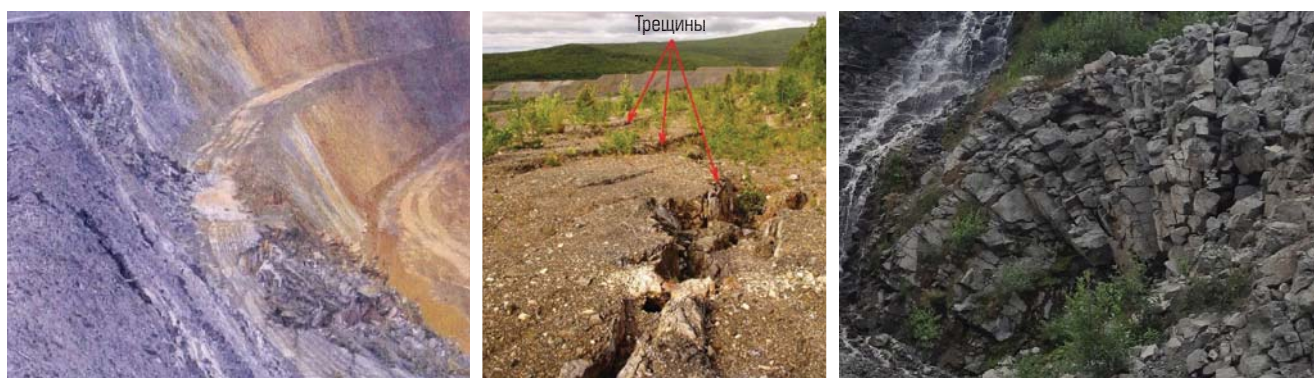


Рис. 1. Разрушение откосов с обратным падением слоев

обратном падении слоев может быть недостаточным. В данных условиях для повышения надежности расчетов следует дополнительно использовать упрощенные графоаналитические методы, позволяющие учитывать развитие смещений или методы численного и физического моделирования.

Подходы для оценки устойчивости откосов при обратном падении слоев

Для оценки устойчивости откосов при обратном падении слоев известны различные аналитические методы, а также методы численного и физического моделирования.

Аналитические методы основаны на определении предельного угла откоса методом предельного равновесия и введения в рассчитанный угол отрицательной поправки в 10–15° и более [3, 11]. Однако данные методы предполагают лишь качественную оценку деформаций в массиве, а не количественную. Кроме того, не представляется возможным определить смещения при различных коэффициентах запаса.

В последнее время с развитием компьютерных технологий все большее распространение получают методы численного моделирования [12–25], среди которых широкое применение на практике нашел метод конечных элементов. В отличие от аналитических методов, метод конечных элементов позволяет оценивать особенности деформирования откосов на всех стадиях его формирования.

Однако применение математического моделирования сопряжено со сложностью получения исходных данных и сложностью решения задач, связанных с постепенным разрушением прибортового массива (развитие процессов трещинообразования) в иерархично-блочной среде. Поэтому для повышения достоверности прогнозов результаты численного моделирования следует заверять натурными наблюдениями или физическим моделированием.

Наиболее подробное представление о процессах деформирования откосов можно получить по результатам физического

моделирования методом эквивалентных материалов (ЭМ) [26–34]. Метод ЭМ позволяет не только определить предельные параметры исследуемой выработки, но и изучить особенности деформационных процессов от момента их возникновения в виде мелких подвижек до больших смещений, приводящих к полной потере устойчивости откоса.

Принимая во внимание сложность оценки устойчивости откосов при обратном падении слоев, была разработана методика обоснования параметров бортов карьеров для данных условий на основе результатов численного и физического моделирования.

Методы исследования

Создание физической модели представляет собой комплекс работ, которые включают в себя определение и испытание физико-механических свойств материала модели, подбор рецептуры смеси и изготовлении ЭМ, укладку смеси в матрицу для моделирования, установку наблюдательной станции, воспроизведение поэтапной открытой отработки.

Физико-механические свойства материала модели определяли на основании натуральных параметров с использованием принципа механического подобия [28]:

$$N_M = N_H \frac{\gamma_M l_M}{\gamma_H L_H} = N_H \alpha_\gamma \alpha_l, \tag{1}$$

$$\text{tg}\varphi_M = \text{tg}\varphi_H, \tag{2}$$

где N_M, N_H – физико-механические характеристики модели и природы соответственно; γ_M, γ_H – объемный вес в модели и в натуре; l_M, L_H – размеры в модели и в натуре; α_γ, α_l – коэффициенты динамического и геометрического подобия соответственно; φ_M, φ_H – угол внутреннего трения в модели и в натуре.

Изготовленный материал модели укладывали в матрицу поворотного стенда (рис. 2, а). Поворотный механизм стенда позволяет проводить укладку слоев под различными углами.

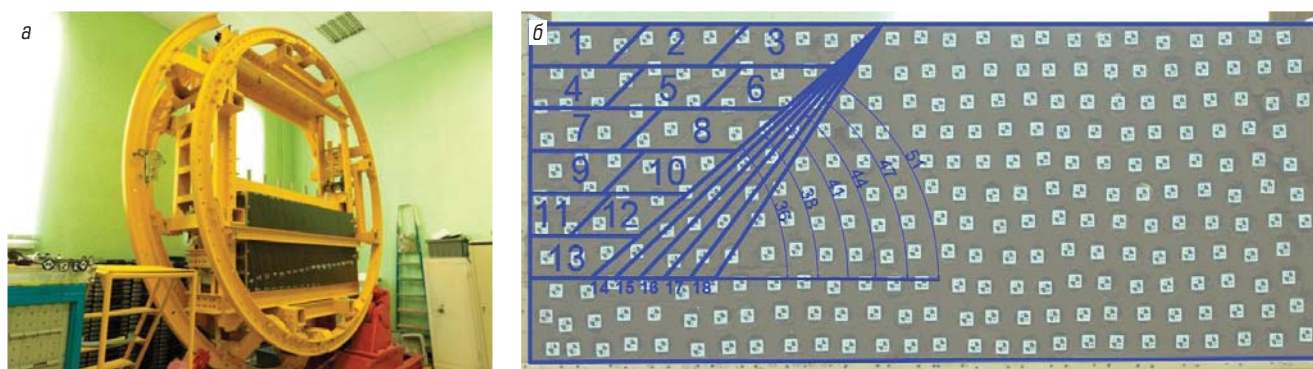


Рис. 2. Изготовление физической модели:

а – поворотный стенд; б – общий вид модели со стяжками и схемой отработки:

1–18 – этапы выемки блоков; 36, 38, 41, 44, 47, 51, град. – углы откосов на различных этапах моделирования

Прочностные свойства эквивалентного материала

Тип модели	Прочностные свойства по контактам слоев
Изотропный откос (модель 1)	—
Слоистый откос (модель 2)	$C_k = 0,14 C_m; \phi_k = 19^\circ$
Слоистый откос (модель 3)	$C_k = 0,39 C_m; \phi_k = 23^\circ$

Примечание. C_m, C_k – сцепление в массиве и по контактам слоев; ϕ_k – угол трения по контактам слоев.

Укладку осуществляли при помощи специального стального катка. Между слоями модели устанавливали специальные стяжки, которые позволяют имитировать объемное напряженное состояние (см. рис. 2, б). На концах стяжек прикрепляли специальные марки для фиксации смещений при помощи фоторегистратора Hasselblad H5D-200MS и видеорегистратора NAC HX-3.

Процесс моделирования представлял собой поэтапную выемку блоков, которая обусловлена увеличением высоты и изменением угла наклона борта, вплоть до обрушения (см. рис. 2, б).

В ходе физического моделирования созданы модели, имитирующие скальный массив с тремя различными условиями: изотропный откос, а также откосы с различными прочностными свойствами по контактам слоев. Угол падения слоистости был принят равным 75° . Прочностные свойства эквивалентного материала, используемого для разных моделей, приведены в таблице.

В ходе физического моделирования был зафиксирован весь процесс нарастания деформаций для каждой модели и выявлены различные механизмы деформирования приборного массива [29] (рис. 3). Во время обработки фотоматериалов с помощью специального программного обеспечения Tema Motion 2D были определены смещения на всех этапах моделирования в каждой точке модели.

Для всех этапов отработки физических моделей (положений горных работ) проведены расчеты устойчивости откосов методом конечных элементов (рис. 4). Расчеты выполняли при помощи программного обеспечения RS2 компании Rocscience [35].

Результаты исследований

По результатам анализа смещений, полученных на физических моделях, установлены зависимости, которые характеризуют распространение смещений на земной поверхности откоса в зависимости от коэффициента запаса (см. рис. 4).

Следует отметить, что на представленных графиках значения на осях представлены в относительных величинах:

- на оси абсцисс – отношение расстояния L от верхней бровки до рассматриваемой точки к высоте откоса H ;

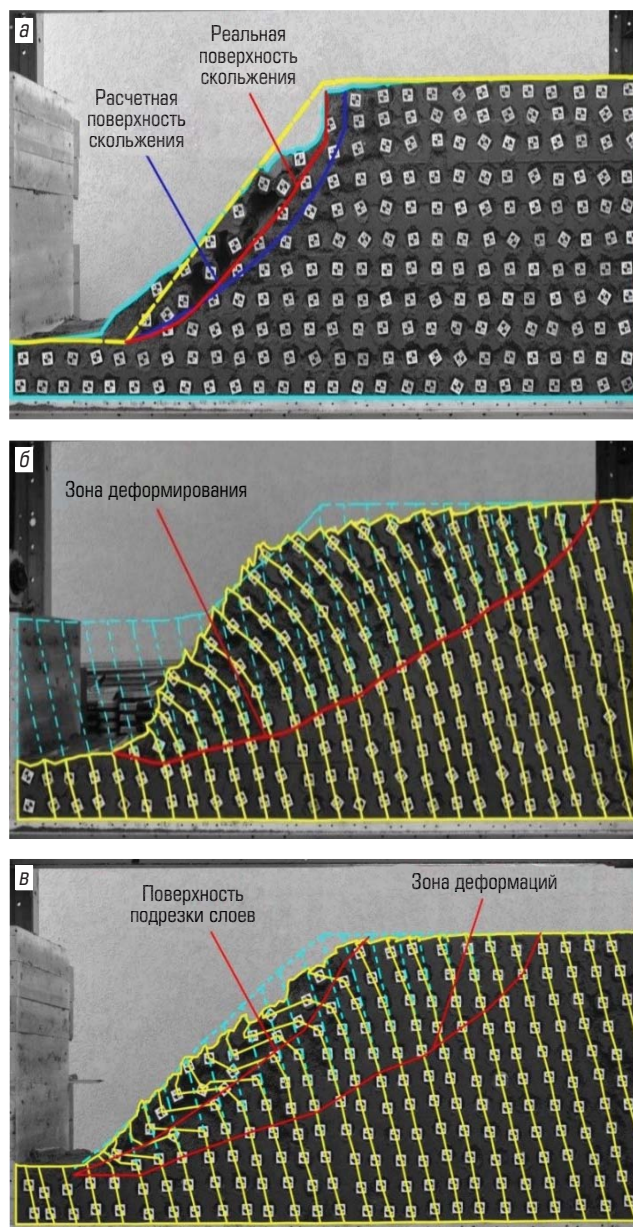


Рис. 3. Пример деформирования физических моделей:
 а – изотропный откос (модель 1); б – слоистый откос (модель 2); в – слоистый откос (модель 3)

- на оси ординат – отношение смещений в каждой точке на поверхности откоса S_i к смещению в верхней бровке откоса S_1 .

Как показано на рис. 4, зависимости, отражающие распространение смещений на земной поверхности на различных этапах деформирования моделей с разными прочностными свойствами по контактам слоев, имеют общий характер и могут быть описаны следующим образом:

$$m = S_i/S_1 = (1,12 \div 1,24)e^{-(2,82 \div 2,16)L/H}. \tag{3}$$

Таким образом, по результатам анализа развития деформационных процессов на земной поверхности откоса, а также

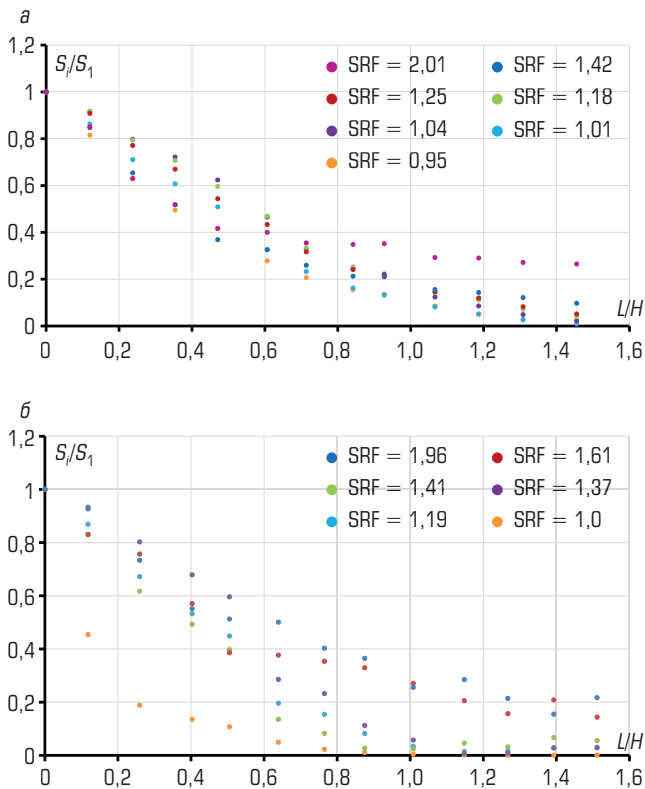


Рис. 4. Характер распространения смещений по земной поверхности при деформирования откоса с обратной слоистостью:

а, б – модели 2 и 3 соответственно

на основании сопоставления смещений, полученных в ходе физического моделирования, и результатов расчетов методом конечных элементов была разработана методика, которая изложена ниже и представлена на **рис. 5**.

Использование данной методики осуществляется в следующем порядке.

1. Параметры бортов карьеров, при которых необходимо спрогнозировать значения смещений на поверхности откоса, определяют с использованием метода конечных элементов. В рассматриваемом примере использовано программное обеспечение RS2 компании Rocscience.

2. По результатам полученного коэффициента запаса устойчивости на графике проводят вертикальную линию до кривой с прочностными свойствами контактов, которые характеризуют прибортовой массив. От данного пересечения проектируют горизонтальную линию на ось ординат.

3. На оси ординат значения смещений представляют в относительных величинах, где H – высота откоса, а m – коэффициент, учитывающий расстояние рассматриваемого участка от верхней бровки. Коэффициент m используют при определении смещений за пределами зоны $L/H > 0,1$ и определяют по формуле (3). При определении смещений в зоне $L/H < 0,1$ коэффициент m принимают равным 1.

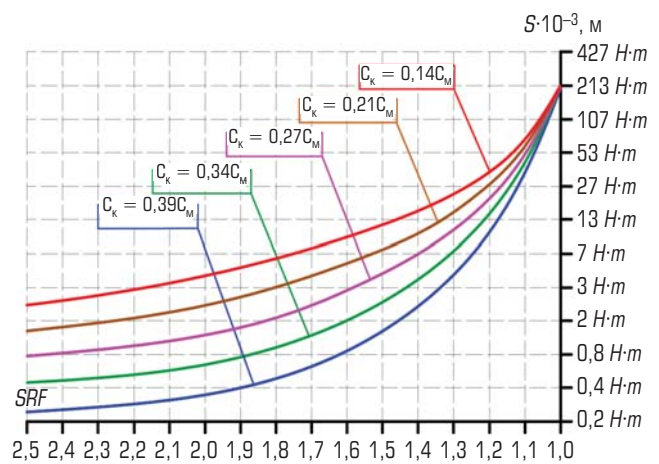


Рис. 5. Зависимость смещений S от коэффициента запаса SRF (ось Y (смещения)) имеет логарифмический масштаб; коэффициент запаса SRF рассчитывается методом конечных элементов)

Полученное значение характеризует прогнозную величину смещений на рассматриваемом участке поверхности при необходимых параметрах откоса.

Следует отметить следующие ограничения при использовании данной методики:

- соотношение сцепления по контактам к сцеплению в массиве должно составлять 0,14–0,4;
- диапазон угла трения по контактам – 19–23°;
- средний угол обратного падения слоистости – 75°;
- диапазон прогноза распространения смещений на земной поверхности откоса L – до 1,5H.

Анализ (обсуждение результатов)

Впервые в российской практике исследования устойчивости откосов с «нетипичным» механизмом деформирования (при обратном падении слоев) были опубликованы в работе [3]. Данное исследование проведено методом физического моделирования, по результатам которого была составлена методика для оценки устойчивости откосов с крутопадающей слоистостью [3, 11]. Суть данной методики заключается в определении предельного угла откоса методом предельного равновесия и введении отрицательной поправки в величину рассчитанного угла, которую определяют графически. Однако данная методика не учитывает в полной мере прочностные свойства по контактам слоев, а также величину смещений, что является не менее важным фактором при обосновании параметров откосов при обратном падении слоев, так как в этом случае могут наблюдаться значительные смещения, которые не позволят нормально эксплуатировать карьер (в штатном режиме).

В данной статье приведены результаты исследований по разработке методики оценки устойчивости откосов с обратной крутопадающей слоистостью методами физического

и численного моделирования. Совместное применение данных подходов позволяет определить параметры бортов карьеров при обратном падении слоев, в которых использование только методов предельного равновесия может привести к развитию значительных деформаций.

Разработанная методика оценки устойчивости откосов для рассматриваемых в статье условий одновременно учитывает как несущую способность откосов, так и развитие смещений по земной поверхности. Данный подход позволяет определять параметры бортов карьеров до начала процессов образования трещин, затрудняющих дальнейшую отработку месторождения.

Заключение

При разработке месторождений со сложными геологическими условиями процесс распределения деформаций может носить «нетипичный» характер. В этом случае качественный прогноз геотехнических процессов методами предельного равновесия становится сложной задачей. К таким условиям следует отнести борта карьеров, формируемых в массивах с обратной крутопадающей слоистостью. Основным механизмом разрушения таких откосов является опрокидывание и/или изгиб слоев. Особенность деформирования откосов с обратной слоистостью заключается в образовании крупных трещин, в то время как общая устойчивость


сохраняется, а коэффициент запаса превышает нормативные значения при выполнении расчетов для изотропного откоса.

При оценке устойчивости таких откосов необходимо учитывать не только их несущую способность, но и величину возможных смещений.

На основании этого по результатам совместного использования физического и численного моделирования была разработана методика, которая позволяет определять параметры карьера до начала образования крупных трещин путем расчета допустимых смещений и графического определения коэффициента запаса устойчивости откоса на любом этапе его деформирования.

Как показывает разработанная методика, комплексное применение физического и численного моделирования позволяет использовать достоинства обоих подходов. С помощью физического моделирования выявляются особенности деформирования бортов карьеров. При численном моделировании выполняются расчеты для различных инженерно-геологических и горнотехнических условий. Сопоставляя полученные данные, появляется возможность более надежно осуществлять прогноз устойчивости откосов для различных условий еще до наступления предельного состояния.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2023, № 5, pp. 49–54
DOI: 10.17580/gzh.2023.05.07

Substantiation of pitwall parameters in rock mass with steeply dipping bedding

Information about authors

S. V. Tsirel¹, Senior Researcher, Doctor of Engineering Sciences

A. A. Pavlovich¹, Head of Laboratory, Candidate of Engineering Sciences, pavlovich_aa@pers.spmi.ru

N. Ya. Melnikov¹, Researcher, Candidate of Engineering Sciences

¹Research Center for Geomechanics and Mining Practice Problems, Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The optimal and stable ultimate pitwall limit design is highly critical for safe open pit mining. Currently, open pit mining is carried out increasingly more often in difficult geological conditions, including steeply dipping bedding. Given such conditions, the pitwall slope stability is a challenging problem, and the conventional designs of pitwall parameters lack reliability. Anti-dip bedding slopes deform with origination of large fractures while preserving the overall stability, with the safety factor higher than the standard value in isotropic slope designs. Stability estimation of such slopes should take into account both the load-carrying capacity of a slope and the eventual displacement size.

On this basis, and from the joint physical and numerical modeling evidence, a procedure has been developed to determine pitwall parameters starting from the initiation of large fractures, by means of allowable displacement calculation and graphical determination of the stability factor of a slope at any stage of deformation.

The procedure proves that the integration of the physical simulation and numerical modeling allows benefitting from both. The physical simulation reveals peculiarities of pitwall deformation. The numerical modeling supports designing in various geological and geotechnical conditions. Collation of the results enables more reliable prediction of slope stability in different conditions much in advance of a limit state.

Keywords: pitwall, physical simulation, finite element method, algebraic addition of forces, bedding, safety factor, displacement, toppling.

References

1. Pevzner M. E. Deformation control in open pit mines. Moscow : Nedra, 1978. 255 p.
2. Zhabko A. V. Theory of calculation of slopes and grounds stability. Analysis, characterization and classification of existing methods for calculating the slopes stability. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2015. No. 4(40). pp. 45–57.
3. Afanasev B. G. Development of scientific framework for stability estimation in bedded adjacent rock mass in open pit coal mines : Theses of Dissertation of Doctor of Engineering Sciences. Leningrad, 1992. 31 p.
4. Afanasev B. G. Slope stability design in case of anti-dip bedding and toppling. *Deep Open Pit Mining : Problems and Solutions. All-Russian Conference Proceedings*. Krivoy Rog, 1987. pp. 77–78.
5. Sapozhnikov V. T., Afanasev B. G. Approximate slope stability design in rock mass with steeply dipping bedding. *Rock Mass Displacement and Deformation in Mineral Mining with Regard to Structure and Mechanical Properties : Collection of Scientific Papers*. Leningrad : VNIMI, 1982. pp. 35–39.
6. Novikova L. K. Optimal coal pitwall design in the conditions of steeply dipping bedding : Theses of Dissertation of Candidate of Engineering Sciences. Karaganda, 1994. 21 p.
7. Novikova L. K. Deformation of steeply dipping bedding pitwall. *Efficient Subsoil Use and Land Reclamation at Mines : Collection of Scientific Papers*. Karaganda : KarPTI, 1988. pp. 53–55.
8. Novikova L. K. Assessment of the behavior and parameters of steeply dipping bedding pitwall in Ekibastuz. *Rock Mass and Ground Movements in Mineral Mining : Collection of Scientific Papers*. Karaganda : KarPTI, 1989. pp. 52–57.
9. Zoteev V. G., Zoteev O. V. Aberrant deformation of deep pitwall and prevention activities. *Gornyi Zhurnal*. 2007. No. 1. pp. 40–45.
10. Read J., Stacey P. Guidelines for open pit slope design. Collingwood : CSIRO Publishing, 2009. 487 p.

11. Federal Industrial Safety Code : Slope Stability and Safety Practice for Pitwall and Dumps. Approved by Rostekhnadzor, Order No. 439 dated 13 November 2020. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573140211> (accessed: 15.12.2022).
12. Mustafin M. G., Sannikova A. P., Yushmanov P. I. Valuation of sustainable of pit wall. *Journal of Mining Institute*. 2012. Vol. 198. pp. 198–201.
13. Mwangi Bowa V., Yuanyou Xia, Minjia Yan, Eugie Kabwe. Toppling of the jointed rock slope with counter-tilted weak planes influenced by the response to local earthquakes. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2018. Vol. 9, No. 4. pp. 302–320.
14. Chaoyi Sun, Congxin Chen, Yun Zheng, Kaizong Xia, Wei Zhang. Topping Failure Analysis of Anti-Dip Bedding Rock Slopes Subjected to Crest Loads. *International Journal of Geotechnical and Geological Engineering*. 2018. Vol. 12, No. 11. pp. 670–678.
15. Verbilo P. E., Vilner M. A. Study of the jointed rock mass uniaxial compression strength anisotropy and scale effect. *GIAB*. 2022. No. 6-2. pp. 47–59.
16. Kutepov Yu. Yu., Borger E. B. Numerical modeling of the rock mass subsidence applied to geological conditions of the mine named after Ruban in Kuzbass. *GIAB*. 2017. No. 5. pp. 66–75.
17. Karasev M. A. Geomechanical behavior prediction in bedded rock mass in complex 3D geometry underground construction under conditions of compact urban planning : Dissertation of Doctor of Engineering Sciences. Saint-Petersburg, 2017. 307 p.
18. Karasev M. A., Buslova M. A., Vilner M. A., Nguyen T. T. Method for predicting the stress-strain state of the vertical shaft lining at the drift landing section in saliferous rocks. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 240. pp. 628–637.
19. Sablin M. V., Borger E. B., Kutepov Yu. I., Kutepov Yu. Yu., Mironov A. S. Geomechanical study of coal series mining in the Ruban Mine under hydraulic fill of open pit. *GIAB*. 2019. No. 6. pp. 124–135.
20. Bagautdinov I. I., Belyakov N. A., Sevryukov V. V., Rasskazov M. I. Hardening soil model in prediction of plastic deformation zone in soft rock mass of Yakovlevo iron ore deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2022. No. 12. pp. 16–21. DOI: 10.17580/gzh.2022.12.03
21. Verbilo P., Karasev M., Belyakov N., Iovlev G. Experimental and numerical research of jointed rock mass anisotropy in a three-dimensional stress field. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 2022. Vol. 37, No. 2. pp. 109–122.
22. Clayton C., Jackson A., Price J., Bidwell A., Elmo D. Case study: Analysis of a highwall toppling failure and development of a successful mine re-entry plan using RS2, RocFall and Dan-W at a coal mine in Canada. *Slope Stability 2020 : Proceedings of the 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2020. pp. 383–398.
23. Nguyen Tai Tien, Karasev M. A., Vilner M. A. Study of the stress-strain state in the subrectangular tunnel. *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development : Conference Proceedings. Series: Lecture Notes in Civil Engineering*. Singapore : Springer, 2020. Vol. 62. pp. 383–388.
24. Protosenya A. G., Alekseev A. V., Verbilo P. E. Prediction of the stress-strain state and stability of tunnel face at the intersection of distur bed zones of the soil mass. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 254. pp. 252–260.
25. Ignatev S. A., Sudarikov A. E., Imashev A. Zh. Modern Mathematical Forecast Methods of Maintenance and Support Conditions for Mining Tunnel. *Journal of Mining Institute*. 2019. Vol. 238. pp. 371–375.
26. Kuznetsov G. N., Budko M. N., Vasilev Yu. I., Shklyarskiy M. F., Yurevich E. G. Modeling phenomena induced by rock pressure. Leningrad : Nedra, 1968. 279 p.
27. Kuznetsov G. N., Budko M. N., Filippova A. A., Shklyarskiy M. F. Model analysis of phenomena induced by rock pressure. Moscow : Ugletekhizdat, 1959. 283 p.
28. Glushikhin F. P., Kuznetsov G. N., Shklyarskiy M. F., Pavlov V. N., Zolotnikov M. S. Modeling in geomechanics. Moscow : Nedra, 1991. 240 p.
29. Tsirel S. V., Pavlovich A. A., Melnikov N. Ya., Zuev B. Yu. Physical Modeling of Deformation Processes in Pit Slope with Steep Bedding. *Journal of Mining Science*. 2019. Vol. 55, No. 3. pp. 364–370.
30. Zuev B. Yu., Zubov V. P., Fedorov A. S. Application prospects for models of equivalent materials in studies of geomechanical processes in underground mining of solid minerals. *Eurasian Mining*. 2019. No. 1. pp. 8–12. DOI: 10.17580/em.2019.01.02
31. Zuev B. Yu. Physical modelling of geomechanical processes in block-hierarchical rock mass based on unified integrated similarity condition. *GIAB*. 2014. No. 4. pp. 356–360.
32. Kuranov A. D., Bagautdinov I. I., Kotikov D. A., Zuev B. Yu. Integrated approach to safety pillar stability in slice mining in the Yakovlevo deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 1. pp. 115–119. DOI: 10.17580/gzh.2020.01.23
33. Zuev B. Yu. Methodology of modeling nonlinear geomechanical processes in blocky and layered rock masses on models made of equivalent materials. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 250. pp. 542–552.
34. Zuev B. Yu., Istomin R. S., Kovshov S. V., Kitsis V. M. Physical modeling the formation of roof collapse zones in Vorkuta coal mines. *Bulletin of The Mineral Research and Exploration*. 2020. Vol. 162, Iss. 162. pp. 225–234.
35. Rocscience RS2. Version 9.030. Rocscience Inc., 2019. Available at: <https://www.rocscience.com/support/rs2/release-notes> (accessed: 15.12.2022).



Компания «Уралкалий» производит калийные удобрения для обеспечения людей по всему миру удовольствием, эффективно и ответственно разрабатывая уникальные калийные месторождения. Главнейшим приоритетом компании является обеспечение высокого качества продукции, отсутствие несчастных случаев и аварий и минимизация негативного воздействия на окружающую среду, что невозможно без тесного сотрудничества с ведущими научными школами, одной из которых является Санкт-Петербургский горный университет и, в частности, Научный центр геомеханики и проблем горного производства.

Руководство «Уралкалий» благодарит коллектив Научного центра за постоянное сотрудничество, отвечающее основным ценностям нашей компании, среди которых безопасность, ответственность, эффективность и командная работа. Ценности — это основа нашей работы. Они объединяют всех сотрудников, независимо от того, в каком подразделении и на каком предприятии они трудятся, какую работу выполняют, какие задачи решают. Ценности являются для нас опорой и поддержкой, дают заряд энергии для дальнейшего развития.

Взаимодействие с сотрудниками Университета оставляет самые благоприятные впечатления, что обусловлено желанием и возможностью выполнять актуальные и наукоемкие работы, высоким профессионализмом, современной материально-технической базой, творческим отношением к производственным задачам.

Поздравляем сотрудников первого высшего технического учебного заведения России с приближающимся 250-летним юбилеем и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

З. В. Смирнов,
технический директор ПАО «Уралкалий»