

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГОРНЫЕ МАШИНЫ

DOI: 10.21440/0536-1028-2024-2-9-17

Calculating natural and man-made structures for underground ore mining

Vladimir I. Golik^{1,2*}, Niiaz G. Valiev³, Aleksandr V. Logachev⁴,
Andrei A. Belodedov⁴, Stanislav A. Maslennikov⁵

¹North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),
Vladikavkaz, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

³Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

⁴Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

⁵Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU, Shakhty city, Russia

*e-mail: v.i.golik@mail.ru

Abstract

Scope of research is natural and man-made structures and facilities for underground ore mining as well as their reliability and preservation control.

Research relevance is explained by tightened environmental requirements aimed at reducing risks of underground mining.

Novelty of the research is in a new approach to studies regulation when using the masses of ore extraction and processing waste as load-bearing structures.

Methods of research include simulating hardening mixtures based on ore processing tailings in order to predict natural and technological stresses in natural and artificial rock masses.

Research results. The paper presents the data from technological stresses simulation in a homogeneous and tectonically faulted solid rock mass with a varying degree of void filling with backfill material. The role of stresses in geodynamic processes development during the man-made impact has been quantitatively detailed. The hazard of natural and man-made masses destruction is assessed by the geomechanical hazard coefficient. Graphs of the hardening mixture strength gain were constructed with approximation by a quadratic polynomial. The paper provides the results of residual metals extraction when using ore dressing tailings to build man-made structures based on hardening mixtures.

Conclusions. Correct parameters of underground mining technologies in terms of natural and man-made structures and facilities reliability can be determined by calculation. The adverse effect of stresses can be minimized by optimizing the ratio of effective stresses and the strength of the man-made structure materials, including hardening mixtures based mining waste and processing tailings of metal leaching.

Application of research findings. The technology may be helpful when developing mainly metalliferous ore deposits by the underground method.

Keywords: ore mining; underground mining; ore dressing tailings; stresses; natural and man-made structures.

Introduction. Ore extraction is characterized by dynamic mining operations associated with irregular changes in raw material quality requirements [1–3]. Mining efficiency, including ore quality, recovery ratio, and environmental impact degree, depends on the state of natural and man-made structures and the earth's surface as well as their safe state, which guarantees the prevention of the impact of mining. Most ore deposits are composed of fragile and hard rocks, so the voids left open lead to host rock

destruction. Therefore, the safe state of natural and man-made structures and the earth’s surface is an important research topic within the frame of the underground mining issues, except when caving is required by technology [4–8].

The methods of flow processes simulation and technology parameters optimization are considered in papers [9–11]. Methods of rock mass state assessment under man-made impact are proposed in [12–14]. Assessment and simulation of process solutions quality management procedures are considered in papers [15–17]. Radical improvement of the near-future technologies is discussed in researches [18–19]. Promising innovative technologies for metal mining using unconventional technologies are considered in papers [20–22]. The research objective is to find rational solutions that meet the requirements of economic efficiency, safety and environmental soundness of technologies.

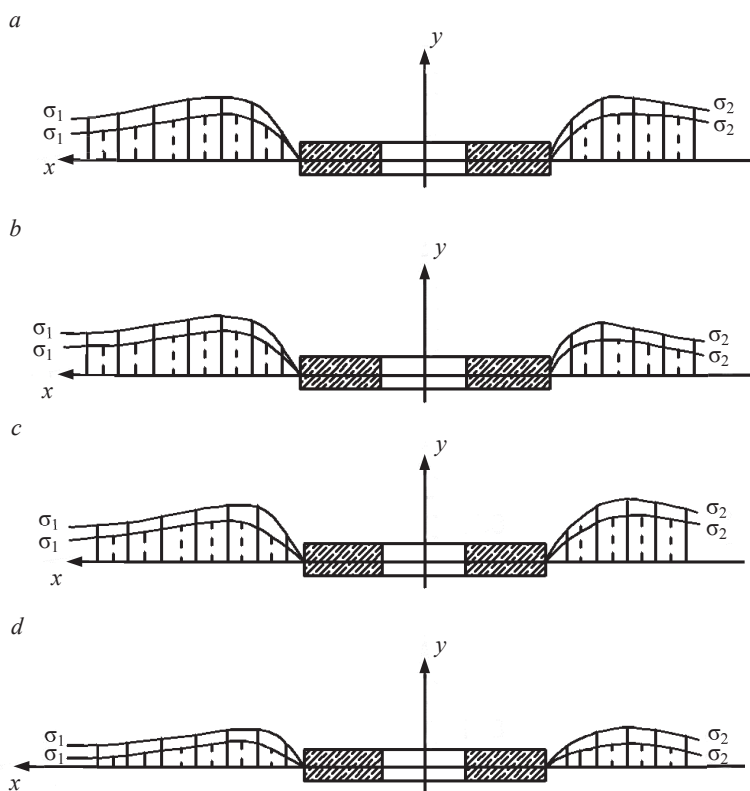


Figure 1. Stress diagrams (maximums and minimums) in the vicinity of the mine working for different states of voids: *a* – without filling; *b* – filling with leach tailings; *c* – filling with weaker hardening mixtures; *d* – filling with strong hardening mixtures; σ_1 – stresses in the hanging side; σ_2 – stresses in the lying side of the mine working; *y* – vertical stresses; *x* – horizontal stresses

Рисунок 1. Эпюры напряжений (максимум и минимум значений) в окрестностях очистной выработки при разном состоянии пустот: *a* – без заполнения; *b* – с заполнением хвостами выщелачивания; *c* – с заполнением твердеющими смесями малой прочности; *d* – с заполнением прочными твердеющими смесями; σ_1 – напряжения в висячем боку; σ_2 – напряжения в лежащем боку выработки; *y* – вертикальные напряжения; *x* – горизонтальные напряжения

Methods of research include studying the properties of hardening mixture components, studying the strength of mixtures and the behavior of the earth’s surface under the man-made impact. The state of natural and man-made masses and the earth’s surface above is assessed by means of simulation. The dynamics of stresses in the

course of ore extraction is studied by the photoelasticity method. Rock mass stress levels under different conditions of the goaf are compared. The rock mass is assumed to be homogeneous in one case, and disturbed by a fault and a large fracture in the other.

Results and analysis. Figure 1 shows stress diagrams (maximums and minimums) in the vicinity of the mine working for different void conditions. The results obtained make it possible to visually record the difference in stresses for the studied options.

Depending on the state of process openings and the location of the measuring points, stresses in a rock mass vary from 1.0 to 9.2 MPa (Table 1).

Table 1. Stresses depending on the state of process openings and the location of the measuring points, MPa

Таблица 1. Величина напряжений, МПа, в массиве в зависимости от состояния технологических пустот и места измерения напряжений

Rock mass element	Without filling	With filling		
		Discrete	Weaker	Strong
<i>Hanging side</i>				
σ_x	8.8	5.3	5.2	3.7
σ_y	7.7	5.1	4.5	3.1
<i>Laying side</i>				
σ_x	7.6	4.7	4.7	3.5
σ_y	6.8	4.6	4.6	3.2

Stress level in the rock mass is at a maximum with process openings left unfilled, while voids filled with strong mixtures reduce stress by up to 25%. Filling voids with weaker mixtures and discrete rocks, such as ore dressing tailings or leach tailings, doesn't significantly affect the stress level.

Table 2. Geomechanical characteristic of rock masses under simulation

Таблица 2. Геомеханическая характеристика массивов при моделировании

Indicator	Without filling	With filling		
		Discrete	Weaker	Strong
Maximum stresses, MPa	8.8	5.3	5.1	3.7
Hazard coefficient K	1.2	0.6	0.7	0.4

Filling voids with a hardening mixture of different strengths reduces stresses to a level which meets the safety conditions.

The risk of natural and man-made structures and the earth's surface destruction is assessed by the geomechanical hazard coefficient, which is the ratio of the maximum stresses in the rock mass to the tensile strength of the backfill (Table 2).

The stress diagrams differ depending on the level of void filling (Figure 2).

The simulation results confirm the possibility of avoiding the destruction of the backfill hardening mixture by controlling the stresses in the vicinity of access voids.

The first version of the model (Figures 1 and 2) corresponds to filling voids with a dry incoherent backfill and leaving unfilled voids, which means that it is close to the actual state of the considered Sadonsky deposit's rock mass which faces a systematic degradation in the mined ore quality. When voids are filled with strong material, the artificial rock mass absorbs rock pressure, reducing stress from the overlying rocks.

The graph of strength gain by the hardening mixture is approximated by a quadratic polynomial with an RMS deviation approaching unity (Figure 3).

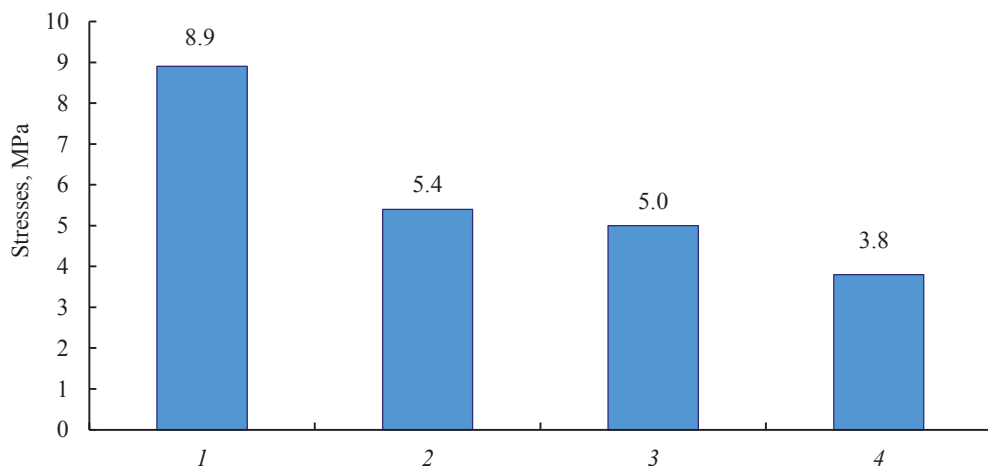


Figure 2. Graph of maximum stresses for different states of voids: 1 – without filling ($K = 1.1$); 2 – filling with discrete material ($K = 0.67$); 3 – filling with weaker mixtures ($K = 0.62$); 4 – filling with strong mixtures ($K = 0.47$)

Рисунок 2. График максимальных напряжений при различном состоянии пустот: 1 – без заполнения ($K = 1,1$); 2 – заполнение дискретным материалом ($K = 0,67$); 3 – заполнение малопрочными смесями ($K = 0,62$); 4 – заполнение прочными смесями ($K = 0,47$)

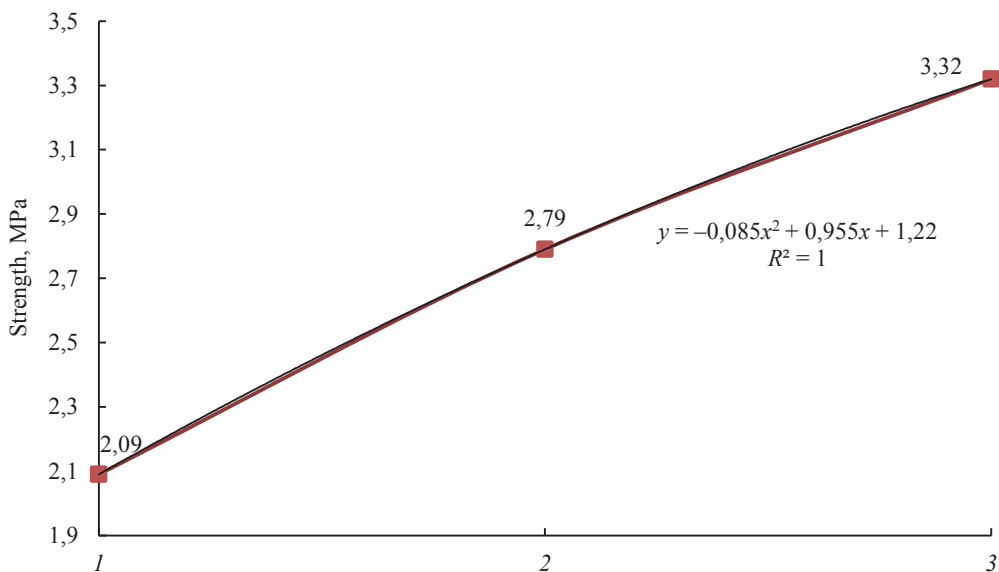


Figure 3. The graph of strength gain by the hardening mixture: 1 – 7 days; 2 – 30 days; 3 – 90 days

Рисунок 3. График набора прочности твердеющей смесью: 1 – 7 дней; 2 – 30 дней; 3 – 90 дней

The results of natural and man-made structures behavior simulation confirm the potential of using ore dressing tailings as part of hardening mixtures.

Valuable ore dressing tailings can be used for hardening mixture production after the residual metals have been extracted from them. Experimental leaching was carried out in stages (Table 3). The metals extraction into solution is presented in Table 4.

Experimental data processing through the regression analysis methods made it possible to construct polynomial regression equations.

The dependence of the lead leaching rate on the volume of sulfuric acid solution with a correlation ratio $R_{pb} = 0.9787$ is: $y_{pb} = 2,056 + 0,1897x - 0,00107x^2$.

The dependence of lead extraction on the duration of leaching in the form of a quadratic dependence is: $y_{pb} = 95,917 - 7,134x + 0,1368x^2$.

The dependence of the zinc leaching rate on the duration of leaching in the form of a quadratic dependence is: $y_{pb} = 165,358 - 9,525x + 0,1457x^2$.

The correlation ratio indicates satisfactory agreement between the model regression equation and the correlation field, therefore the hypothesis about the dependence according to the F-test at a level is accepted as plausible.

Deformation of natural and man-made structures and the earth's surface above them is due to access voids formed in rock masses and stresses developing under their influence. The mechanism of normal uniaxial stresses development depends on the strength of the concrete mixtures in the voids.

The strength of the hardening mixture under uniaxial compression is simulated in laboratory conditions. Mixture composition: cement – 180 kg/m³, ore dressing tailings – 320 kg/m³, water from the Suttard flow spread.

The tests have been done on 7-day-old, 1- and 3-month-old samples (Table 5). The quadratic model for the increment in strength of a concrete mixture is as follows: $y_{pb} = 165,358 - 9,525x + 0,1457x^2$.

Table 3. Metal leaching results
Таблица 3. Результаты выщелачивания металлов

Leaching stages	Metals output, g	
	lead	zink
Stage 1	17.5	46.3
	68.4	99.2
	51.5	119.8
	15.6	73.6
<i>10-day break</i>		
Stage 2	20.2	70.1
	3.3	22.2
	0.5	7.2
<i>10-day break</i>		
Stage 3	12.3	20.2
	2.4	10.0
	0.2	2.2

Table 4. The results of leaching with a sulfuric acid solution
Таблица 4. Результаты выщелачивания раствором серной кислоты

Solution, dm ³	Extraction in strings, mg/dm ³									
	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
10	3.1	2.6	4.6	2.6	4.1	2.20	3.5	2.3	3.7	2.3
20	5.3	17.7	5.7	18.3	5.5	17.98	5.6	18.7	5.4	18.2
30	6.3	28.5	6.5	27.4	7.3	28.70	7.2	29.2	6.7	29.6
40	7.6	35.3	7.5	33.2	8.2	35.70	7.8	34.8	8.3	34.5
50	8.4	65.4	9.2	68.8	8.5	68.30	8.8	69.8	9.5	71.7

By modeling the composition of the hardening mixture according to the nomenclature and number of components, it is possible to select the optimal composition for the given conditions.

The results obtained correlate with the environmental concept of this area of mining, since they combine process and environmental factors into a unified complex.

Conclusions and application of research findings. The state of host rock and man-made masses is the fitting criterion for the applied subsoil use technology and the priority factor for the mined ore quality management.

Table 5. The strength of a mixture under uniaxial compression

Таблица 5. Прочность смеси при одноосном сжатии

Sample	Strength, MPa		
	7 days	30 days	90 days
No. 1	2.1	–	–
No. 2	2.1	–	–
No. 3	2.1	–	–
No. 4	–	2.6	–
No. 5	–	2.6	–
No. 6	–	3.2	–
No. 7	–	–	3.2
No. 8	–	–	3.4
No. 9	–	–	3.5

The risk of underground development of stress-strained rock masses can be assessed at the design stage of field development by optimizing the ratio of effective stresses and material strength.

The research results may be helpful when designing new and upgrading existing mining and metallurgical enterprises.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Neverov S. A., Konurin A. I., Neverov A. A., Nikol'skii A. M., Konurina M. I. Studying the indicators of ore mining at the bypass section depending on the bypass point design. In: *Proceedings of the 19th Internat. Interdisciplinary scient. geoconf.* Sophia, 2019; 19(1.3): 355–362. (In Russ.)
2. Sokolov I. V., Antipin Iu. G., Nikitin I. V. *The methodology of choosing underground geotechnology at combined ore mining.* Ekaterinburg: Ural State Mining University Publishing; 2021. (In Russ.)
3. Sun Chao, Bo Jing-shan, Liu Hong-shuai. Study on influencing factors of ground settlement over mined-out area. *Journal of Jilin University. Earth Science Edition.* 2009; 3: 498–502.
4. Valiev N. G., Berkovich V. Kh., Propp V. D., Kokarev K. V. The problem of developing protection pillars under the exploitation of ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2018; 2: 4–9. (In Russ.)
5. Kurtsev B. V., Fedotov G. S. MICROMINE-based geomechanical supervision of mining. *Gornyi zhurnal = Mining Journal.* 2022; 1: 45–50. (In Russ.)
6. Sidorov D. V., Ponomarenko T. V., Kosukhin N. I. Geodynamic safety management toward sustainable development of Severouralsk Bauxite Mine. *Gornyi zhurnal = Mining Journal.* 2021; 1: 81–85. (In Russ.)
7. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite. In: *International Journal of Applied Engineering Research.* 2015; 10(15): 35410–35416.
8. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2015; 10(16): 6787–6792.
9. Trofimov A. V., Kirkin A. P., Rumiantsev A. E., Iavarov A. V. Use of numerical modelling to determine optimum overcoring parameters in rock stress-strain state analysis. *Tsvetnye metally = Non-Ferrous Metals Journal.* 2020; 12: 22–27. (In Russ.)
10. Eremenko A. A., Darbinian T. P., Ainbinder I. I., Konurin A. I. Geomechanical assessment of rock mass in the Talnakh and Oktyabrsky deposits. *Gornyi zhurnal = Mining Journal.* 2020; 1: 82–86. (In Russ.)
11. Ainbinder I. I., Patskevich P. G., Krasiukova E. V., Averin A. P. Justification of stability strategy for underground mine openings under higher effective anisotropic stresses. *Gornyi zhurnal = Mining Journal.* 2022; 1: 34–40. (In Russ.)

12. Abramkin N. I., Efimov V. I., Mansurov P. A. Empirical techniques for assessing rock mass condition. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 2: 68–76.
13. Kazanin O. I., Ilinets A. A. Ensuring the excavation workings stability when developing excavation sites of flat-lying coal seams by three workings. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2022; 253: 41–48. (In Russ.)
14. Protosenia A. G., Alekseev A. V., Verbilo P. E. Prediction of the stress-strain state and stability of tunnel face at the intersection of disturbed zones of the soil mass. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2022; 254: 252–260. (In Russ.)
15. Galchenko Iu. P., Eremenko V. A., Kosyreva M. A., Vysotin N. G. Features of secondary stress field formation under anthropogenic change in subsoil during underground mineral mining. *Eurasian Mining*. 2020; 1: 9–13. (In Russ.)
16. Shabarov A. N., Tsirel S. V., Kuranov A. D., Popov A. L. Geodynamic risks of mining in a highly stressed rock mass. In: *Problems of geomechanics of highly compressed rock and rock masses: Proceedings of the 1st Internat. Sci. conf. E3S Web of Conferences*. 2019; 129: 01011. (In Russ.)
17. Polovov B. D., Volkov M. N., Prishchepa D. V. Geotechnical monitoring of mining facilities in the system for assessing and ensuring the quality of geomechanical solutions. *Izvestiia Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2020; 2(58): 139–160. (In Russ.)
18. Dzhumanbaev V. V., Kurmanaliev K. Z., Mansurov V. A., Babkin E. A. Optimization of geological and economic-geological evaluation of Dzhamgyr mining project. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2021; 1: 115–119. (In Russ.)
19. Oryngozhin E. S., Fedorov E. V., Alisheva Zh. N., Mitishova N. A. Technology of underground downhole leaching at uranium deposits. *Eurasian Mining*. 2021; 2: 31–35. (In Russ.)
20. Brigida V. S., Golik V. I., Klyuev R. V., Sabirova L. B., Mambetalieva A. R., Karlina Yu. I. Efficiency gains when using activated mill tailings in underground mining. *Metallurgist*. 2023; 67: 398–408.
21. Golik V. I., Razorenov Iu. I., Dmitrak Iu. V., Gabaraev O. Z. Safety improvement of the underground ore extraction considering mass geodynamics. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2019; 8: 36–42. (In Russ.)
22. Liashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Development of environment-friendly and resource-saving methods of underground ore mining in disturbed rock masses. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020; 5(2): 104–118. (In Russ.)

Received 12 December 2023

Information about the authors:

Vladimir I. Golik – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Mining, North Caucasus State Technological University. E-mail: v.i.golik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>

Niiaz G. Valiev – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining, Ural State Mining University, Editor-in-Chief of Minerals and Mining Engineering. E-mail: gtf.gd@m.ursmu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Aleksandr V. Logachev – DSc (Engineering), professor of the Department of Mining, Platov South-Russian State Polytechnic University. E-mail: og.a@bk.ru

Andrei A. Belodedov – DSc (Engineering), professor of the Department of Mining, Platov South-Russian State Polytechnic University. E-mail: a.a.belodedov@mail.ru

Stanislav A. Maslennikov – PhD (Engineering), Head of the Department of Construction and Technosphere Safety, Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU. E-mail: maslennikovsa@mail.ru

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.21440/0536-1028-2024-2-9-17

К расчету природно-техногенных конструкций при подземной добыче руд

Голдик В. И.^{1,2}, Валиев Н. Г.³, Логачев А. В.⁴, Белодедов А. А.⁴, Масленников С. А.⁵

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.

² Московский политехнический университет, Москва, Россия.

³ Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.

⁴ Южно-Российский государственный политехнический университет, Новочеркасск, Россия.

⁵ Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ, Шахты, Россия.

Реферат

Предмет исследования – природно-техногенные конструкции и сооружения для осуществления подземной добычи руд и обеспечение их надежности и сохранности от разрушения.

Актуальность работы объясняется ужесточением природоохранных требований для снижения рисков при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

Новизна состоит в новом подходе к регламентации исследований при использовании в качестве несущих конструкций массивов на основе отходов добычи и переработки руд.

Методология работы представляла собой моделирование твердеющих смесей на основе хвостов переработки руд для прогнозирования природных и технологических напряжений в природных и искусственных массивах.

Результаты работы. Приведены данные моделирования технологических напряжений в однородном и тектонически нарушенном скальном массиве с разной степенью заполнения пустот материалом закладки. Детализирована в количественном отношении роль напряжений в развитии геодинамических процессов при техногенном вмешательстве. Опасность разрушения природно-техногенных массивов оценена коэффициентом геомеханической опасности. Построены графики набора прочности твердеющей смеси с аппроксимацией полиномиальной функцией второй степени. Даны результаты извлечения остаточных металлов при использовании хвостов обогащения для изготовления техногенных конструкций на основе твердеющих смесей.

Выводы. Корректные параметры технологий подземной разработки в части надежности природно-техногенных конструкций и сооружений могут быть определены расчетом. Негативное влияние напряжений может быть минимизировано путем оптимизации соотношения действующих напряжений и прочности материала техногенных конструкций, в том числе твердеющих смесей на основе хвостов добычи и переработки после выщелачивания из них металлов.

Область применения результатов. Технология может быть востребована при разработке подземным способом сложноструктурных месторождений преимущественно металлических руд.

Ключевые слова: добыча руд; подземная разработка; хвосты обогащения; напряжения; природно-техногенные конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Неверов С. А., Конурин А. И., Неверов А. А., Никольский А. М., Конурин М. И. Исследование показателей добычи руды на участке отвода в зависимости от конструкции отводных пунктов // Материалы 19-й Международной междисциплинарной научной геоконференции. София. 2019. Т. 19. Кн. 1.3. С. 355–362.
2. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Никитин И. В. Методология выбора подземной геотехнологии при гибридной добыче руды. Екатеринбург: Уральский горный университет, 2021. 340 с.
3. Sun Chao, Bo Jing-shan, Liu Hong-shuai. Study on influencing factors of ground settlement over mined-out area // Journal of Jilin University. Earth Science Edition. 2009. No. 3. P. 498–502.
4. Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В. Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 2. С. 4–9.
5. Курцев Б. В., Федотов Г. С. Геомеханический контроль горных работ на основе МИКРОМИНА // Горный журнал. 2022. № 1. С. 45–50.
6. Сидоров Д. В., Пономаренко Т. В., Косухин Н. И. Управление геодинамической безопасностью для устойчивого развития Североуральского бокситового рудника // Горный журнал. 2021. № 1. С. 81–85.
7. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Experimental study of non-waste recycling tailings ferruginous quartzite // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 15. P. 35410–35416.
8. Molev M. D., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10. No. 16. P. 6787–6792.
9. Трофимов А. В., Киркин А. П., Румянцев А. Е., Яваров А. В. Использование численного моделирования для определения оптимальных параметров перегрузки при анализе напряженно-деформированного состояния горных пород // Цветные металлы. 2020. № 12. С. 22–27.
10. Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Айнбиндер И. И., Конурин А. И. Геомеханическая оценка массива горных пород Талнахского и Октябрьского месторождений // Горный журнал. 2020. № 1. С. 82–86.
11. Айнбиндер И. И., Пацкевич П. Г., Красюкова Е. В., Аверин А. П. Обоснование стратегии устойчивости подземных горных выработок при более высоких эффективных анизотропных напряжениях // Горный журнал. 2022. № 1. С. 34–40.

12. Абрамкин Н. И., Ефимов В. И., Мансуров П. А. Эмпирические методики оценки состояния массива горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 2 С. 68–76.
13. Казанин О. И., Ильинец А. А. Обеспечение устойчивости горных выработок при разработке участков выемки пологих угольных пластов тремя выработками // Записки горного института. 2022. Т. 253. С. 41–48.
14. Протосеня А. Г., Алексеев А. В., Вербило П. Е. Прогноз напряженно-деформированного состояния и устойчивости забоя тоннеля на пересечении зон разлома грунтового массива // Записки горного института. 2022. Т. 254. С. 252–260.
15. Гальченко Ю. П., Еременко В. А., Косырева М. А., Высотин Н. Г. Особенности формирования поля вторичных напряжений при антропогенных изменениях в недрах при подземной добыче полезных ископаемых // Eurasian Mining. 2020. No. 1. P. 9–13.
16. Шабаров А. Н., Цирель С. В., Куранов А. Д., Попов А. Л. Геодинамические риски ведения горных работ в высоконапряженном горном массиве // Проблемы геомеханики сильно сжатых горных пород и массивов горных пород: матер. 1-й Междунар. науч. конф. E3S Web of Conferences. 2019. Т. 129. 01011.
17. Половов Б. Д., Волков М. Н., Прищепа Д. В. Геотехнический мониторинг горнотехнических сооружений в системе оценки и обеспечения качества геомеханических решений // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. № 2(58). С. 138–158.
18. Джуманбаев В. В., Курманалиев К. З., Мансуров В. А., Бабкин Е. А. Оптимизация геологической и экономико-геологической оценки проекта разработки месторождения Джамгыр // Горный журнал. 2021. № 1. С. 115–119.
19. Орынгожин Е. С., Федоров Е. В., Алишева Ж. Н., Митишова Н. А. Технология подземного выщелачивания урановых месторождений // Eurasian Mining. 2021. № 2. С. 31–35.
20. Brigida V. S., Golik V. I., Klyuev R. V., Sabirova L. B., Mambetalieva A. R., Karlina Yu. I. Efficiency gains when using activated mill tailings in underground mining // Metallurgist. 2023. Vol. 67. P. 398–408.
21. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Повышение безопасности подземной добычи руд учетом геодинамики массива // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 8. С. 36–42.
22. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах // Горные науки и технологии. 2020. Т. 5. № 2. С. 104–118.

Поступила в редакцию 12 декабря 2023 года

Сведения об авторах:

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: v.i.golik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>

Валиев Нияз Гадым оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета, главный редактор издания «Известия вузов. Горный журнал». E-mail: gtf.gd@m.ursmu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-2217>

Логачев Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета. E-mail: log.a@bk.ru

Белодедов Андрей Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета. E-mail: a.a.belodedov@mail.ru

Масленников Станислав Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ. E-mail: maslennikovsa@mail.ru

Для цитирования: Голик В. И., Валиев Н. Г., Логачев А. В., Белодедов А. А., Масленников С. А. К расчету природно-техногенных конструкций при подземной добыче руд // Известия вузов. Горный журнал. 2024. № 2. С. 9–17 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-2-9-17

For citation: Golik V. I., Valiev N. G., Logachev A. V., Belodedov A. A., Maslennikov S. A. Calculating natural and man-made structures for underground ore mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2024; 2: 9–17. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-2-9-17