

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ВЫРАБОТКИ И ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ РАСТЯГИВАЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ГЛУБИНЕ СВЫШЕ 1 км

Нгуен Ван Минь¹, В.А. Еременко¹, М.А. Сухорукова¹, С.С. Шерматова²

¹ ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: prof.eremenko@gmail.com

² Российский университет дружбы народов, Инженерная академия, Москва, Россия

Аннотация: Представлены результаты исследований, посвященных изучению вторичного поля напряжений, которое формируется во вмещающем массиве выработок различной формы сечения и вариантов действия главных напряжений на глубине ведения горных работ свыше 1 км. Моделирование напряженно-деформированного состояния вмещающего массива подготовительных выработок проводилось в программном комплексе Map3D. Полученные результаты количественного анализа используются в настоящее время для калибровки модели в течение всего периода проходки и поддержания действующих выработок. Показаны результаты оценки принятых параметров выработок, расчеты значений микродеформаций вмещающего массива по трем сценариям. При проходке выработок на исследуемом участке в гранитах интенсивная трещиноватость и формирование зон растягивающих деформаций развивается от границы со значениями $\varepsilon_3 \geq 350\mu\epsilon$ и используется для определения расстояний от кровли ($H_{\text{кровля}}$) и боков ($H_{\text{бок}}$) выработки вчерне до границы $\varepsilon_3 = 350\mu\epsilon$ (зоны вероятного разрушения массива). На основе моделирования получены результаты определения структуры вторичных полей напряжений и деформаций в условиях проходки подготовительных выработок на больших глубинах.

Ключевые слова: растягивающие деформации, сжатие, трещины, действующие напряжения, сечение, кровля и бока выработки, глубина свыше 1 км, горная порода, программы Map3D и RocData, калибровка модели.

Для цитирования: Нгуен Ван Минь, Еременко В.А., Сухорукова М.А., Шерматова С.С. Оценка влияния формы выработки и действующих напряжений в массиве на формирование зоны растягивающих деформаций на глубине свыше 1 км // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – №6. – С. 67–75. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-67-75.

Influence exerted by underground excavation shape and by effective stresses on the formation of a tensile strain zone at a depth greater than 1 km

Nguyen Van Min¹, V.A. Eremenko¹, M.A. Sukhorukova¹, S.S. Shermatova²

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
e-mail: prof.eremenko@gmail.com

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Engineering Academy, Moscow, Russia

Abstract: The article presents the studies into the secondary stress field formed in surrounding rock mass around underground excavations of different cross-sections and the variants of principal stresses at a mining depth greater than 1 km. The stress-strain analysis of surrounding

rock mass around development headings was performed in Map3D environment. The obtained results of the quantitative analysis are currently used in adjustment of the model over the whole period of heading and support of operating mine openings. The estimates of the assumed parameters of excavations, as well as the calculations of micro-strains in surrounding rock mass by three scenarios are given. During heading in the test area in granite, dense fracturing and formation of tensile strain zone proceeds from the boundary of $\varepsilon_3 \geq 350\mu\varepsilon$ and is used to determine rough distances from the roof (H_{roof}) and sidewalls (H_{side}) of an underground excavation to the boundary $\varepsilon_3 = 350\mu\varepsilon$ (probable rock fracture zone). The modeling has determined the structure of secondary stress and strain fields in the conditions of heading operations at great depths.

Key words: tensile strains, compression, fractures, effective stresses, cross-section, roof and sidewalls, depth greater than 1 km, rock, Map3D and RocData, model adjustment.

For citation: Nguyen Van Min, Eremenko V.A., Sukhorukova M.A., Shermatova S.S. Influence exerted by underground excavation shape and by effective stresses on the formation of a tensile strain zone at a depth greater than 1 km. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):67-75. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-67-75.

Введение

В настоящее время в России и за рубежом при разработке месторождений твердых полезных ископаемых подземным способом наблюдается устойчивая тенденция увеличения глубины горных работ свыше 1 км [1]. В процессе проходки и поддержания горных выработок в условиях высокого горного давления во вмещающем их массиве формируются наведенная трещиноватость и зоны растягивающих деформаций.

Современные исследования основываются на определении механизма разрушения массива горных пород при ведении горных работ от действия напряжений [2 – 12]. В природных же усло-

виях, при проходке горных выработок на глубинах свыше 1 км во вмещающем массиве регистрируются трещины растяжения, которые образуются параллельно и субпараллельно обнажению выработки по всему периметру. Эти трещины называют трещинами растяжения, они возникают под действием высоких сил сжатия. Данный вид разрушения относится не к сдвигу, а к растяжению (рис. 1) [13 – 15].

Регистрируется при этом в массиве процесс растяжения, при условии, что все три главные компоненты напряжений сжимающие. Этот процесс определяется критерием растягивающей деформации [16 – 19], согласно которому: «Порода начинает разрушаться при всестороннем сжатии, когда вторичное растягивающее напряжение превышает определенный предел прочности породы», т.е.:

$$\varepsilon_3 \geq \varepsilon_c,$$

где ε_3 – растягивающая деформация; ε_c – предельное (критическое) значение растягивающей деформации.

Трещины растяжения образуются в плоскостях, перпендикулярных направлению действия растягивающей деформации, соответствующему направлению действия минимального главного напряжения (минимального главного напряе-

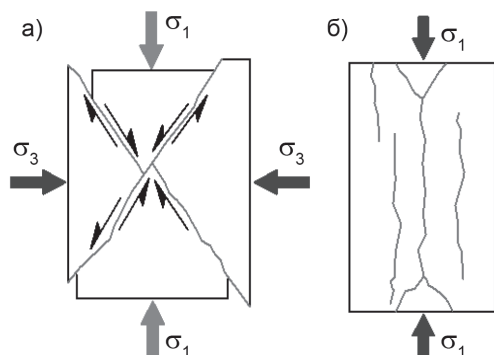


Рис. 1. Тип разрушения сдвиг (а) и растяжение (б)
Fig. 1. Type of fracture: (a) shear; (b) tension

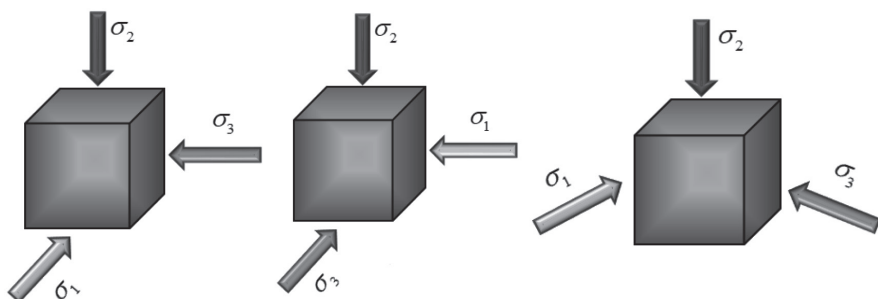


Рис. 2. Сценарии действия главных напряжений в массиве
Fig. 2. Scenarios of principle stresses in rock mass

ния сжатия). Деформация в этом направлении связана с тремя главными напряжениями согласно следующему уравнению:

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)],$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, E – модуль Юнга нетронутых пород, ν – коэффициент Пуассона.

Программный комплекс численного моделирования Mar3D, который использует в численных расчетах представленное выше уравнение позволяет определять зоны растягивающих деформаций, которые формируются во вмещающем выработку массиве.

Порядок проведения исследований и результаты

При проведении расчетов рассматривалось несколько сценариев (табл. 1, рис. 2): 1) максимальное главное напряжение действует по направлению оси

Таблица 1

Действующие напряжения Effective stresses

Глубина, м	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа
1100	48,4	40,3	32,3

выработки (по простиранию); 2) перпендикулярно оси выработки (вкрест простирания) и 3) под углом 45° к оси выработки.

Форма выработок в расчетах принималась квадратная, круглая и арочная (рис. 3).

Для определения прочности исследуемого массива горных пород, находящегося в естественных условиях, использовалась программа RocData (табл. 2). При расчетах задавался исходный параметр GSI (индекс геологической прочности массива), а также параметр D (индекс техногенной нарушенности массива).

На рис. 4 для примера показан исследуемый участок выработок Таймырского

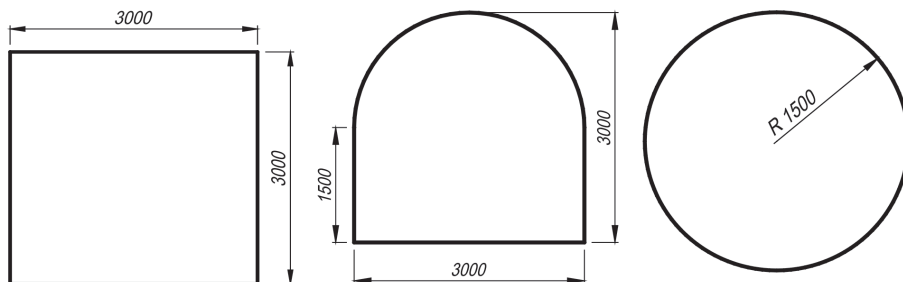


Рис. 3. Геометрические формы выработок и их размеры. 1500 и 3000 мм
Fig. 3. Shapes and sizes of underground excavations. 1500 and 3000 mm

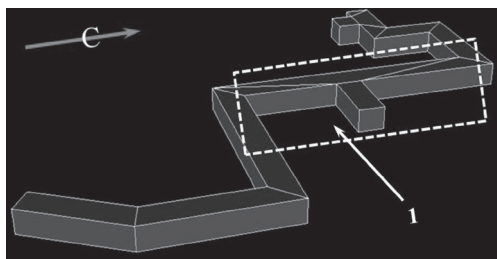


Рис. 4. Схема рассматриваемого участка выработок на действующем руднике (глубина 1100 м)
Fig. 4. Layout of test area in operating mine (depth 1100 m)

Таблица 2

Результаты определения свойств массива гранита в программе RocData
Granite rock mass properties determined in RocData

Параметр	Значение
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	83,8
Модуль упругости, МПа	63 095
Коэффициент Пуассона	0,33
Параметры Хука – Брауна, mb	16,83
Параметры Хука – Брауна, s	0,14

рудника на глубине 1100 м, для условий которого и трех геометрических форм выработок проводились численные расчеты с использованием программы численного моделирования Map3D.

При проходке выработок на исследуемом участке в гранитах интенсивная трещиноватость и формирование зон растягивающих деформаций развивается до границы со значениями $\varepsilon_3 \geq 350\mu\epsilon$ и используется для определения расстояний от кровли ($H_{\text{кровля}}$) и боков ($H_{\text{бок}}$) выработки вчерне до границы $\varepsilon_3 = 350\mu\epsilon$ (зона вероятного разрушения массива) (рис. 5). Микродеформация ($\mu\epsilon = \varepsilon \cdot 10^6$) — единица измерения относительной деформации растяжения, рассчитываемой путем деления величины абсолютной деформации ΔL на исходную длину объекта L : $\varepsilon = \Delta L/L$.

На рис. 6–8 показаны результаты численного моделирования для рассматриваемого участка выработок (табл. 2, рис. 4).

С учетом полученных результатов исследований установлено, что зоны растягивающих деформаций (зоны возможного разрушения массива) со значениями $\mu\epsilon \geq 350$ формируются в кровле выработки на глубину: $H_{\text{кровля}}$ (круглая) = 0,5–0,54 м; $H_{\text{кровля}}$ (арочная) = 0,66–0,77 м; $H_{\text{кровля}}$ (квадратная) = 1,35–1,36 м. Выявлен наихудший сценарий формирования зоны растягивающих деформаций для квадратного сечения выработки и направления дей-

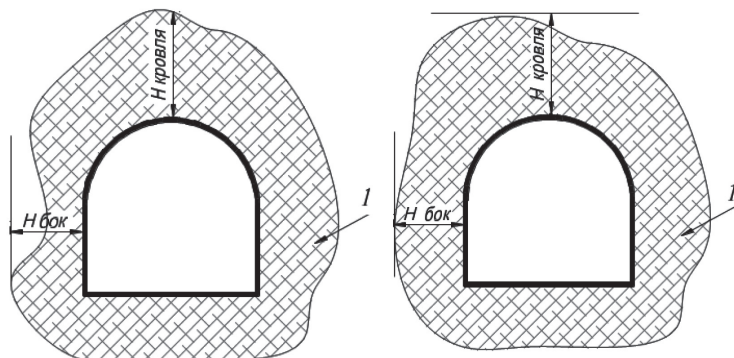


Рис. 5. Расстояние от кровли и боков выработки вчерне до границы зоны растягивающих деформаций со значениями $\varepsilon_3 \geq 350\mu\epsilon$ (1)

Fig. 5. Rough distance from the roof and sidewalls of underground excavation to the tensile strain zone boundary $\varepsilon_3 \geq 350\mu\epsilon$ a (1)

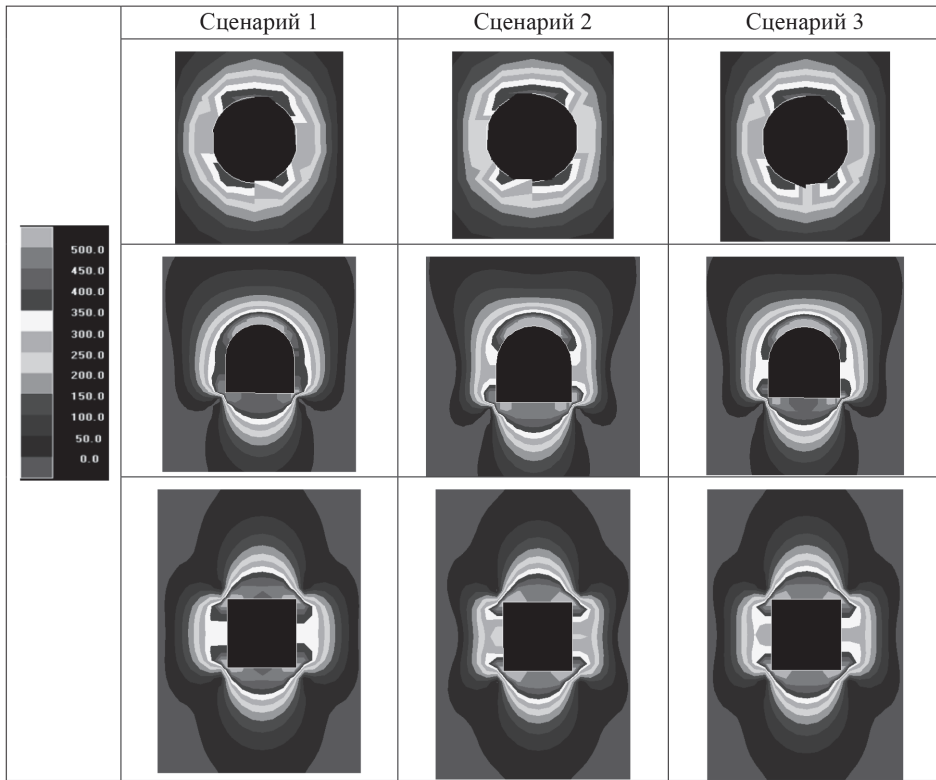


Рис. 6. Выявленные с помощью численного моделирования в программном комплексе Map3D зоны растягивающих деформаций по рассматриваемым сценариям 1–3. 0,0÷500,0 – микродеформации $\mu\epsilon$
 Fig. 6. Tensile strain zone revealed by Map3D-based numerical modeling in scenarios 1–3: 0.0–500.0 – micro-strains $\mu\epsilon$

ствия максимального напряжения σ_1 вкрест ее простирания. Наиболее благоприятный сценарий с точки зрения устойчивости массива при круглом и

арочном сечении и действии σ_1 по простиранию горной выработки.

С учетом полученных результатов моделирования установлено, что зоны

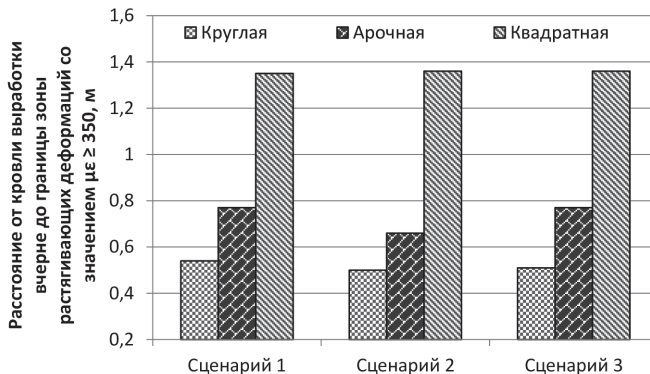


Рис. 7. Глубина распространения зон растягивающих деформаций в кровле выработки (сценарии 1–3)
 Fig. 7. Propagation depth of tensile strain zones in underground excavation roof (scenarios 1–3)

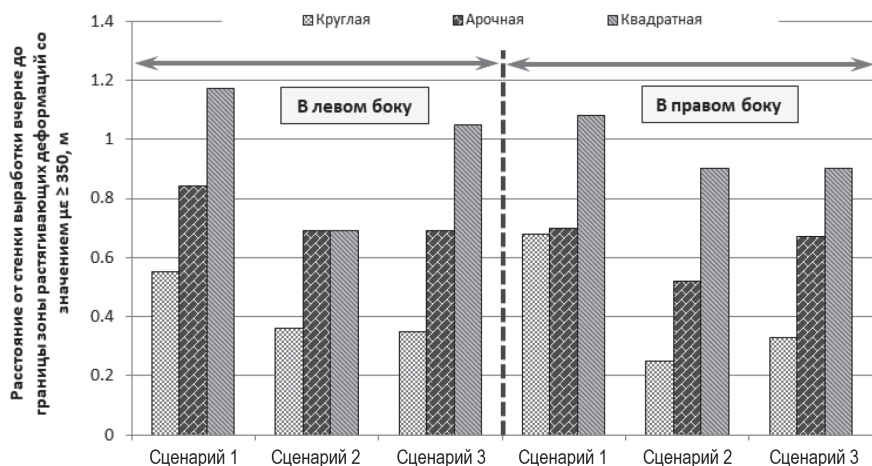


Рис. 8. Глубина распространения зон растягивающих деформаций в боках выработки (сценарии 1–3)
 Fig. 8. Propagation depth of tensile strain zones in underground excavation sidewalls (scenarios 1–3)

растягивающих деформаций (зоны возможного разрушения массива) со значениями $\mu\epsilon \geq 350$ формируются в боках выработки на глубину:

по сценарию 1 – $H_{бок}$ левый (квадратная) = 1,17 м, $H_{бок}$ левый (арочная) = 0,84 м, $H_{бок}$ левый (круглая) = 0,55 м ($H_{бок}$ левый (квадратная) в 1,39 раза больше $H_{бок}$ левый (арочная), в 2,13 раза больше $H_{бок}$ левый (круглая));

по сценарию 2 – $H_{бок}$ левый (квадратная) = 0,69, $H_{бок}$ левый (арочная) = 0,69 м, $H_{бок}$ левый (круглая) = 0,36 м ($H_{бок}$ левый (квадратная) и $H_{бок}$ левый (арочная) в 1,92 раза больше $H_{бок}$ левый (круглая));

по сценарию 3 – $H_{бок}$ левый (квадратная) = 1,05 м, $H_{бок}$ левый (арочная) = 0,69 м и $H_{бок}$ левый (круглая) = 0,35 м ($H_{бок}$ левый (квадратная) в 1,52 раза больше $H_{бок}$ левый (арочная), в 3 раза больше $H_{бок}$ левый (круглая));

по сценарию 1 – $H_{бок}$ правый (квадратная) = 1,08 м, $H_{бок}$ правый (арочная) = 0,7 м, $H_{бок}$ правый (круглая) = 0,68 м ($H_{бок}$ правый (квадратная) в 1,54 раза больше $H_{бок}$ правый (арочная), в 1,59 раза больше $H_{бок}$ правый (круглая));

по сценарию 2 – $H_{бок}$ правый (квадратная) = 0,9 м, $H_{бок}$ правый (арочная) =

= 0,52 м, $H_{бок}$ правый (круглая) = 0,25 м ($H_{бок}$ правый (квадратная) в 1,73 раза больше $H_{бок}$ правый (арочная), в 3,6 раза больше $H_{бок}$ правый (круглая));

по сценарию 3 – $H_{бок}$ правый (квадратная) = 0,9 м, $H_{бок}$ правый (арочная) = 0,67 м, $H_{бок}$ правый (круглая) = 0,33 м ($H_{бок}$ правый (квадратная) в 1,34 раза больше $H_{бок}$ правый (арочная), в 2,73 раза больше $H_{бок}$ правый (круглая)).

Следует отметить, что представленные в моделях горно-геологические условия калибровались и уточнялись в процессе ведения горных работ, так как они недостаточно коррелируются с реальными наблюдениями. Погрешность моделей оценивалась ориентировочно до 15% в сторону уменьшения глубины распространения зон растягивающих деформаций в массиве для арочной и круглой формы выработок.

Вывод

С учетом полученных результатов численного моделирования в программном комплексе Map3D исследованы структуры формирования вторичного поля напряжений во вмещающем массиве выработок различной формы сечения на глубине свыше 1 км и вариантов

действия главных напряжений. Моделирование проводилось по сценариям 1–3. Результаты моделирования показали, что наименьшие главные деформации ε_3 развиваются по направлению действия минимального главного напряжения σ_3 .

Проведенный анализ показал наиболее неблагоприятные ситуации, которые формируются при квадратном сечении выработок. Наиболее благоприятные при круглом и арочном сечении выработок.

Полученные критические значения микродеформаций $\varepsilon_3 \geq 350\mu\epsilon$ позволили

выявить потенциально опасные участки массива, породы из которых выдавливаются в выработку в процессе ее проходки и поддержания. Хорошо в моделях позиционируется местоположение этих зон и их размеры, которые в настоящее время эффективно калибруются в процессе ведения горных работ на рассматриваемых участках рудников на глубинах свыше 1 км (рудники Таймырский, Октябрьский, Интернациональный, Таштагольский, Golden Grove и шахта Скалистая).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xie H., Gao F., Ju Y., Gao M., Zhang R., Gao Y., et al. Quantitative definition and investigation of deep mining // Journal of the China Coal Society. 2015. Vol. 40. No 1. Pp. 1 – 10.

2. Лушников В. Н., Сэнди М. П., Еременко В. А., Коваленко А. А., Иванов И. А. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 11–16.

3. Еременко В. А., Аксенов З. В., Пуль Э. К., Захаров Н. Е. Исследование структуры вторичного поля напряжений призабойной части подготовительных выработок при проходке выбросоопасных пластов с использованием программы Map3D // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 91–104. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-91-104.

4. Козырев А. А., Семенова И. Э., Журавлева О. Г., Пантелеев А. В. Гипотеза происхождения сильного сейсмического события на Расвумчоррском руднике 09.01.2018 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 12. – С. 74–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83.

5. Зубов В. П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 77–83.

6. Сидоров Д. В., Пономаренко Т. В., Ларичкин Ф. Д., Воробьев А. Г. Экономическое обоснование инновационных решений по снижению потерь сырья в алюминиевой отрасли России // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 65–68.

7. Terzaghi K., Peck R. B. Soil mechanics in engineering practice. Wiley, New York. 1967.

8. Griffith A. A. The theory of rupture, Proceedings of First International Congress of Applied Mechanics. Delft. 1924, pp. 55–93.

9. Hoek E., Brown E. T. Underground excavations in rock, London: Institute of Mining and Metallurgy, 1980.

10. Sheorey P. R., Biswas A. K., Choubey V. D. An empirical failure criterion for rocks and jointed rock masses // Engineering Geology. 1989. Vol. 26. Pp. 141–159.

11. Еременко В. А., Айнбиндер И. И., Пацкевич П. Г., Бабкин Е. А. Оценка состояния массива горных пород на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 5–17.

12. Высотин Н. Г., Косырева М. А., Лейзер В. И., Аксенов З. В. Обоснование создания комплексного стенда для физического моделирования геомеханических процессов во вторичных полях напряжений в условиях разработки месторождений конвергентными

горными технологиями // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 10. — С. 131–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-131-145.

13. Fairhurst C., Cook N. G. W. The phenomenon of rock splitting parallel to the direction of maximum compression in the neighbourhood of a surface / Proceedings 1st Congress of the International Society for Rock Mechanics. Lisbon. 1966. Vol. 1. Pp. 687–692.


14. Kuijpers J. Fracturing around highly stressed excavations in brittle rock // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2000. Vol. 100. Pp. 325–332.

15. Ndlovu X., Stacey T. R. Observations and analyses of roof guttering in a coal mine // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2007. Vol. 107. Pp. 477–491.

16. Stacey T. R. A simple extension strain criterion for fracture of brittle rock // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1981. Vol. 18. Pp. 469–474.

17. Jiang Q., Feng X., Song L., Gong Y., Zheg H., Cui J. Modeling rockspecimens through 3D printing: Tentative experiments and prospects // Acta Mechanica Sinica. 2015. Vol. 32. No 1. Pp. 524–535.

18. Kong L., Ostadhassan M., Li C., Tamimi N. Rock Physics and geomechanics of 3D printed rocks // ARMA 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, San Francisco, California, USA. Conference Paper. 2017, pp. 1–8.

19. Gell E. M., Walley S. M., Braithwaite C. H. Review of the validity of the use of artificial specimens for characterizing the mechanical properties of rocks // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. No 3. Pp. 1–13. 

REFERENCES

1. Xie H., Gao F., Ju Y., Gao M., Zhang R., Gao Y., et al. Quantitative definition and investigation of deep mining. *Journal of the China Coal Society*. 2015. Vol. 40. No 1. Pp. 1–10.

2. Lushnikov V. N., Sendi M. P., Eremenko V. A., Kovalenko A. A., Ivanov I. A. Method of definition of the zone of rock massif failure range around mine workings and chambers by numerical modeling. *Gornyi Zhurnal*. 2013, no 12, pp. 11–16. [In Russ].

3. Eremenko V. A., Aksenov Z. V., Pul E. K., Zakharov N. E. MAP 3D analysis of secondary stress field structure in face area of development headings in rockburst-hazardous seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(5):91-104. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-91-104.

4. Kozyrev A. A., Semenova I. E., Zhuravleva O. G., Pantelev A. V. Hypothesis of strong seismic event origin in Rasvumchorr Mine on January 9, 2018. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 12, pp. 74–83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83.

5. Zubov V. P. Applied technologies and current problems of resource-saving in underground mining of stratified deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 6, pp. 77–83. [In Russ].

6. Sidorov D. V., Ponomarenko T. V., Larichkin F. D., Vorob'ev A. G. Economic justification of innovative solutions on loss reduction in the aluminium sector of Russia. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no 6, pp. 5–68. [In Russ].

7. Terzaghi K., Peck R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley, New York. 1967.

8. Griffith A. A. The theory of rupture, *Proceedings of First International Congress of Applied Mechanics*. Delft. 1924, pp. 55–93.

9. Hoek E., Brown E. T. *Underground excavations in rock*. London: Institute of Mining and Metallurgy, 1980.

10. Sheorey P. R., Biswas A. K., Choubey V. D. An empirical failure criterion for rocks and jointed rock masses. *Engineering Geology*. 1989. Vol. 26. Pp. 141–159.

11. Eremenko V. A., Aynbinder I. I., Patskevich P. G., Babkin E. A. Assessment of the state of rocks in underground mines at the Polar Division of Norilsk Nickel. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 1, pp. 5–17. [In Russ].

12. Vyotin N. G., Kosyreva M. A., Leyzer V. I., Aksenov Z. V. Design rationale for engineering multipurpose bench for physical simulation of geomechanical processes in secondary stress

fields under conditions of mining with convergent geotechnologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):131-145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-131-145.

13. Fairhurst C., Cook N.G.W. The phenomenon of rock splitting parallel to the direction of maximum compression in the neighbourhood of a surface. *Proceedings 1st Congress of the International Society for Rock Mechanics*. Lisbon. 1966. Vol. 1. Pp. 687 – 692.

14. Kuijpers J. Fracturing around highly stressed excavations in brittle rock. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2000. Vol. 100. Pp. 325 – 332.

15. Ndlovu X., Stacey T.R. Observations and analyses of roof guttering in a coal mine. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2007. Vol. 107. Pp. 477 – 491.

16. Stacey T.R. A simple extension strain criterion for fracture of brittle rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 1981. Vol. 18. Pp. 469 – 474.

17. Jiang Q., Feng X., Song L., Gong Y., Zheg H., Cui J. Modeling rockspecimens through 3D printing: Tentative experiments and prospects. *Acta Mechanica Sinica*. 2015. Vol. 32. No 1. Pp. 524 – 535.

18. Kong L., Ostadhassan M., Li C., Tamimi N. Rock Physics and geomechanics of 3D printed rocks. *ARMA 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. San Francisco, California, USA. Conference Paper. 2017, pp. 1 – 8.

19. Gell E.M., Walley S.M., Braithwaite C.H. Review of the validity of the use of artificial specimens for characterizing the mechanical properties of rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019. No 3. Pp. 1 – 13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нгуен Ван Минь¹ – аспирант, e-mail: minhvn@utt.edu.vn,
Еременко Виталий Андреевич¹ – д-р техн. наук, профессор РАН,
директор научно-исследовательского центра

«Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии»

ГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

Сухорукова Марина Анатольевна¹ – инженер,

e-mail: marinasuhruk242822@yandex.ru,

Шерматова Сайера Сидиковна – учебный мастер,

Российский университет дружбы народов,

Инженерная академия, e-mail: s_shermatova@inbox.ru,

¹ ГИ НИТУ «МИСиС»,

Для контактов: Еременко В.А., e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nguyen Van Min¹, Graduate Student, e-mail: minhvn@utt.edu.vn,
V.A. Eremenko¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Research Center
for Applied Geomechanics and Convergent Technologies in Mining,

NUST MISIS, e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

M.A. Sukhorukova¹, Engineer, e-mail: marinasuhruk242822@yandex.ru,

S.S. Shermatova, Educational Master, e-mail: s_shermatova@inbox.ru,

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),

Engineering Academy, 117198, Moscow, Russia,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,

119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: V.A. Eremenko, e-mail: prof.eremenko@gmail.com.

Получена редакцией 26.02.2020; получена после рецензии 01.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 26.02.2020; received after the review 01.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.