

Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород

Р.Ш. Насыров¹, А.В. Третьяк¹, С.С. Неугомонов², А.М. Мажитов²✉

¹ Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

✉ artur.mazhitov@yandex.ru

Резюме: Наличие тектонически-ослабленных и нарушенных зон сопровождается снижением скорости проходки подземных выработок и безопасности ведения горных работ. Как правило, такие зоны ограничены вертикальными и субвертикальными нарушениями, способствующими ослаблению и потере устойчивости породного и рудного массива. Нарушение естественного состояния, в частности проведение горной выработки, провоцирует необратимые деформации за счет перераспределения и концентрации напряжений на приконтурный более жесткий породный массив. Причем в массиве самой тектонической зоны не образуются значительных напряжений, обусловленных его обрушением. Поэтому при разработке решений по проведению и креплению выработок в тектонической зоне породный массив должен рассматриваться как ослабленный и сильно раздробленный с несвязными структурными блоками. Гранулометрический состав породного массива тектонической зоны изменяется в широком диапазоне – от нескольких до десятка сантиметров. В связи с этим представленная в работе технология проведения и крепления выработок учитывает возможное свободное обрушение несвязного мелкоблочного вмещающего породного массива. В работе рассмотрены физико-механические характеристики напряженно-деформированного состояния горного массива тектонически-ослабленной зоны и приконтурных вмещающих пород и на основе этого предложена технология проходки и крепления подземных горных выработок.

Ключевые слова: тектонически-ослабленная зона, проходка выработок, устойчивость массива, комбинированная крепь, многоуровневое крепление

Для цитирования: Насыров Р.Ш., Третьяк А.В., Неугомонов С.С., Мажитов А.М. Разработка технологии проведения и крепления горной выработки в зоне тектонически-ослабленных пород. *Горная промышленность*. 2024;(3):126–130. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-126-130>

Developing a technology of driving and supporting mine workings in tectonically weakened rock zones

R.Sh. Nasyrov¹, A.V. Tretyak¹, S.S. Neugomonov², A.M. Mazhitov²✉

¹ Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

✉ artur.mazhitov@yandex.ru

Abstract: Presence of tectonically weakened and disturbed zones leads to decreased underground excavation rates and reduced safety of the mining operations. As a rule, such zones are bounded by vertical and subvertical disturbances that contribute to weakening and loss of stability of the rock and ore mass. Disturbance of the natural state, in particular driving of a mine workings, provokes irreversible deformations due to redistribution and concentration of stresses within the boundary rock mass, which is more rigid. At the same time no significant stresses are formed within the rock mass of the tectonic zone due to its caving. Therefore, when developing solutions for driving and supporting mining excavations within the tectonic zone, the rock mass should be considered as weakened and highly fragmented with unbonded structural blocks. The particle-size distribution within the rock mass of the tectonic zone varies in a wide range of sized from several to tens of centimetres. In this context, the mining and rock reinforcement technology presented in this paper accounts for the possible free caving of the non-bonded host rock mass made up of small-sized blocks. The paper discusses physical and mechanical characteristics and the stress-and-strain state of the rock mass within the tectonically weakened zone and the boundary host rocks, and a technology of driving and supporting underground mine workings is proposed on this basis.

Keywords: tectonically weakened zone, driving of mine workings, rock mass stability, combined support, multi-tier support

For citation: Nasyrov R.Sh., Tretyak A.V., Neugomonov S.S., Mazhitov A.M. Developing a technology of driving and supporting mine workings in tectonically weakened rock zones. *Russian Mining Industry*. 2024;(3):126–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-126-130>

Введение

Проблема проходки и крепления подземных выработок, находящихся в тектонически-ослабленных зонах, является актуальной научно-практической задачей, направленной на обеспечение безопасности при ведении горных работ в нарушенных и неустойчивых породах. Исходя из природных геоструктурных характеристик рассматриваемых зон выбор технологии проходки и типа крепления должен учитывать следующие факторы [1–7]:

- интенсивное осыпание забоя и кровли после проходки выработки;
- кратковременное сохранение устойчивости горного массива (менее 4 ч);
- конструктивные элементы крепи испытывают нагрузку от веса обрушенного породного массива.

В качестве примера рассмотрены тектонически-нарушенные зоны в пределах рудных тел шахты Десятилетия независимости Казахстана (г. Хромтау, Казахстан). Как показано на рис. 1, зоны ограничены вертикальными и субвертикальными нарушениями, способствующими ослаблению и потере устойчивости породного и рудного массива.

Результаты

На основе анализа горно-геологических характеристик массива и принятых допущений разработана многоуровневая комбинированная технология крепления для обеспечения устойчивости сильнотрещиноватого несвязного (грунтоподобного) массива. Тип и состав элементов комбинированной крепи представлены в табл. 1.

Разработанная технология и конструкция представленного вида крепи увязываются с технологическим циклом проходки выработки и состоят из последовательности выполнения следующих операций и процессов. Первоначально производится бурение разведочной скважины на глубину не менее 15 м до пересечения с ослабленной зоной. Разведочное бурение выполняется для изучения и уточнения горно-геологических условий перед началом проходческих работ. На втором этапе производится непосредственно крепление, которое начинается не менее чем

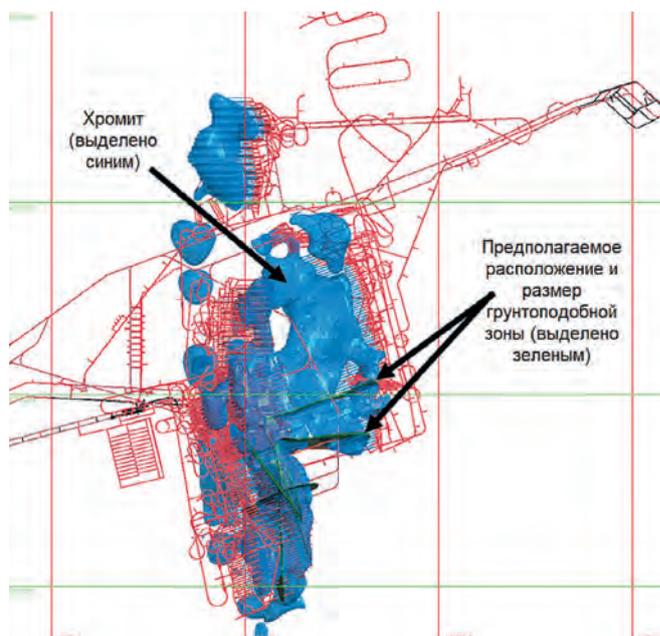


Рис. 1
Расположение тектонически-ослабленных зон

Fig. 1
Location of the tectonically weakened zones

за 5 м до пересечения с породами тектонически-ослабленной зоны (расстояние до границы зоны определяется разведочным бурением). Крепления выполняются уровнями в следующей последовательности:

- установка фрикционных анкеров (SS46) длиной 3,0 м под углом вверх на 10–15°, представляющих собой опережающее крепление;
- установка решетчатой фермы непосредственно у груди забоя для последующего тросового крепления;
- подвигание забоя выработки на 1 м в разрыхленном массиве тектонической зоны;
- укладка слоя фиброармированного торкретбетона толщиной не менее 25 мм на груди забоя и не менее 50 мм в кровле и бортах выработки для предотвращения осыпания

Таблица 1
Конструктивные параметры многоуровневой комбинированной крепи

Table 1
Structural parameters of the multi-tiered combined support

Элемент крепления	Спецификации	Рекомендуемая схема и размеры крепления
Фрикционные анкеры для забивного крепления	SS46 Прочность скрепления 0,120 МН на метр Устойчивость к деформации 0,120 МН	Шаг между анкерами 0,3 м, длина 3,0 м Наклон вверх под углом 10–15°
Решетчатые фермы	4-арматурные №140 Диаметр арматуры: 20 мм	Шаг 1,0 м
Фиброармированный торкретбетон – цикл 1	Прочность на сжатие 35 МПа Кoeffициент поглощения энергии RDP на 28 день – 450 Дж	Для бортов и кровли 50 мм (минимум) Для крепления забоя 25 мм (минимум)
Сварная сетка	Диаметр 8 мм	Для крепления бортов и кровли Межосевое расстояние между квадратами 0,1 м
Фрикционные анкеры	SS46 Устойчивость к деформации 0,120 МН	Для бортов и кровли По квадратной сетке 1,0 м x 1,0 м, длина 3,0 м
Тросовые анкеры	17,8 мм Устойчивость к деформации 0,305 МН	По квадратной сетке 1,0 м x 1,0 м, длина 6,0 м Установка на высоте 1 м от почвы, привязка к решетчатым фермам
Фиброармированный торкретбетон – цикл 2	Прочность на сжатие 35 МПа Кoeffициент поглощения энергии RDP на 28 день – 450 Дж	Для бортов и кровли 100 мм (минимум)

ния горной массы. При необходимости данный вид работ производится поэтапно во время зачистки забоя;

- установка сварной сетки в кровле и бортах с помощью прижимных болтов к фрикционным анкерам SS46;

- установка тросовых анкеров в бортах и кровле выработки, которые привязываются к ранее установленным решетчатым фермам, расположенным на расстоянии 1,0 м от груди забоя;

- нанесение слоя фиброармированного торкретбетона толщиной 100 мм для изоляции головок анкеров, сетки и решетчатой фермы.

Далее цикл проходки выработки повторяется. Основным отличием от существующих способов проходки и крепления выработок является наличие решетчатых ферм, которые устанавливаются с шагом 1,0 м по мере продвижения забоя. Представленный способ крепления выработки продолжается на расстоянии 5 м после выхода из тектонически-ослабленной зоны.

Требуемые эксплуатационные характеристики разработанного способа крепления достигаются при строгом соблюдении вышеуказанной последовательности операций с регулярным проведением мониторинга состояния налегающего массива. При возведении крепи по данной технологии формируются определенные требования и рекомендации:

1. При проходке параллельных штреков для сохранения устойчивости междуштрекового целика необходимы дополнительный мониторинг деформаций горного массива и усиленное крепление выработки в зоне тектонического ослабления.

2. Проходка и крепление выработки тектонически-ослабленной зоны снижают интенсивность подготовительных работ, что должно быть учтено при составлении графика организации работ.

Исходя из физико-механических характеристик породного массива, слагающего тектонически-ослабленную зону, велика вероятность осыпания, вплоть до обрушения, несвязных разрыхленных пород в кровле и бортах выработки даже после ее проходки и крепления. В связи с этим крепление должно обеспечивать устойчивость выработки при статической нагрузке от налегающих пород. Статическая нагрузка на выработку рассчитывается по методу Терцаги [8–10], согласно которому у выработках на значительной глубине в ослабленном массиве интенсивность нагрузки на кровлю выработки оценивается по глубине арочного влияния, которая обусловлена геометрией выработки. Принцип арочного влияния заключается в способности ослабленного массива переходить в состояние самоподдерживающегося на определенной высоте над выработкой за счет сил трения, действующих по границе пород (рис. 3) [11; 12]. В физическом смысле принцип определяет способность пород над выработкой передавать свой вес на породы по обе стороны от выработки. Критерием выбора крепления на ослабленных участках является наличие достаточной опорной устойчивости для удержания подработанной породы с коэффициентом запаса равным 1,5.

С учетом результатов выполненной оценки нагрузки по методу Терцаги рекомендованы к применению следующие конструктивные элементы многоуровневого крепления:

1. Одноканатные тросовые анкеры и фрикционные анкеры типа SS46;

2. Фиброармированный торкретбетон со следующими параметрами:

- 8-часовая прочность на сжатие – 5 МПа;

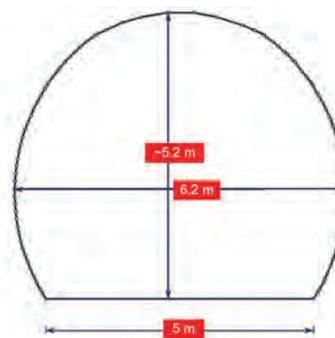


Рис. 2
Рекомендуемая форма горной выработки

Fig. 2
Recommended shape of the mine workings



Рис. 3
Схема расчета нагрузок на крепь

Fig. 3
A schematic drawing for load calculations on the rock support

- 28-суточная прочность на сжатие – 35 МПа;
- коэффициент поглощения энергии RDP на 28 суток – 450 Дж;

3. Сварная сетка диаметром 8 мм;
4. Решетчатые фермы – 4-арматурные №140 диаметром 20 мм.

По результатам моделирования высота разрыхленного материала рассчитывалась с учетом модификатора H_p_{ult} , равного 0,73, и составила 8 м над штреком. Для 8-метровой глубины разрыхления необходимы тросовые анкеры длиной 9,5 м с шагом 1,0 м по квадратной сетке с требуемым коэффициентом запаса 1,5. Сводный расчет параметров крепления приведен в виде графика на рис. 4. Такая длина тросовых анкеров является технологически сложной для установки, поэтому для обеспечения соответствующей расчетным параметрам нагрузки крепления пород ослабленной зоны рассматривается арочная крепь.

В качестве мер по снижению риска нарушения устойчивости выработки предлагается использовать опережающее упрочнение приконтурного массива за счет дополнительной установки радиальных фрикционных анкеров (рис. 5) с последующим нанесением фиброармированного торкретбетона ¹.

¹ Using the Q system: rock mass classification and support design. Norwegian Geotechnical Institute (NGI). 2015. NGI Publication, Oslo. 54 p. Available at: https://www.ngi.no/globalassets/bilder/forskning-og-radgivning/bygg-og-anlegg/handbook-the-q-system-may-2015-nettutg_update-june-2022.pdf (accessed: 10.02.2024).

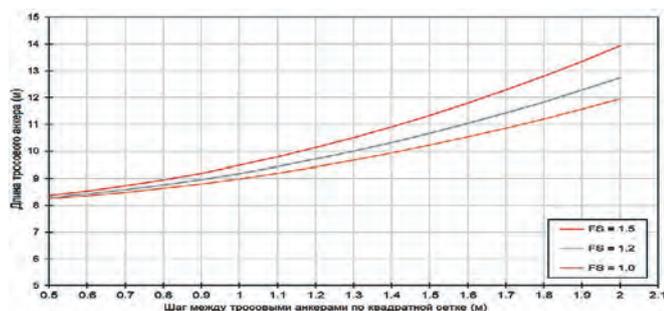


Рис. 4
Зависимость необходимой длины тросового анкера от сетки установки

Fig. 4
The dependence of the required cable bolt length on the installation grid

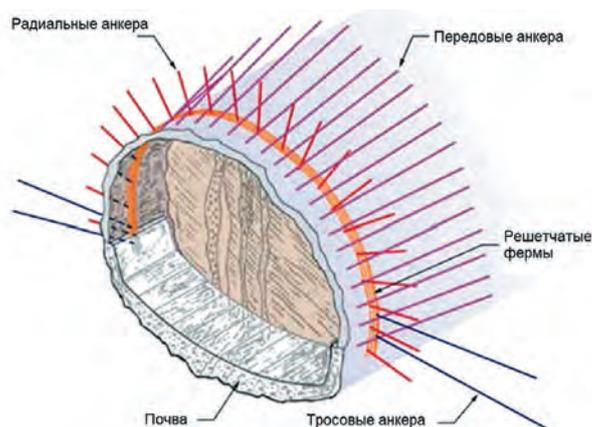
После проходки и возведения крепи в тектонически-ослабленной зоне регулярно проводится контроль качества установки крепи и определение соответствия параметров крепления и формы выработок. Положения, входящие в контроль качества, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Позиции контроля качества возведения крепи при проходке горных выработок в ослабленных и нарушенных зонах

Позиция оценки качества	Мера контроля качества
Проверка крепления	Визуальный контроль установленного крепления и глубины цикла уходки, проверка правильности выполнения рекомендаций по установке крепления и выемке
Законтурное обрушение	Мониторинг незакрепленных выработок во время выемки и зачистки забоя, а также до и во время установки крепления для определения профиля пройденной выработки и степени осыпания или показателей тектонической зоны
Качество установки крепления	Испытание выдергиванием установленных анкеров
	Испытание торкретбетона
	Мониторинг после торкретирования для сравнения с отсканированной незакрепленной поверхностью и оценки толщины слоя уложенного торкретбетона

Рис. 5
Схема опережающей крепи

Fig. 5
A schematic view of the advance support



Заключение

В заключение необходимо отметить, что в вопросах по оптимальному управлению процессом проходки в сложных горнотектонических условиях обязательно учитывать обобщенные вышеприведенные мероприятия:

- допускать изменение геометрии горных выработок до полного арочного профиля;
- использовать обязательное опережающее крепление;
- уходка забоя должна быть принята не более 1,0 м;

- обязательное нанесение армированного фиброволокном торкретбетона путем набрызгивания;
- для предотвращения осыпания материала следует предусмотреть крепление забоя путем набрызгивания слоя фиброармированного торкретбетона толщиной 25 мм в каждом проходческом цикле;
- через каждые 1,0 м предполагается устанавливать решетчатые фермы.

Список литературы / References

- Алексеев А.В., Иовлев Г.А. Влияние неоднородности массива на устойчивость проходческого забоя при строительстве метрополитена. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017;(8-3):6–14. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.007>
Alekseev A.V.I, Iovlev G.A. Influence of the inhomogeneity of the solid mass on the stability of the mine working during the construction of the subway. *Mezhdunarodnyi Nauchno-Issledovatel'skii Zhurnal*. 2017;(8-3):6–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.007>
- Креницын Р.В. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород при отработке месторождений Урала. *Горная промышленность*. 2022;(5):79–82. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-79-82>
Krinit'syn R.V. Stress-deformed state of the rock mass in the development of deposits in the Urals. *Russian Mining Industry*. 2022;(5):79–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-79-82>
- Кузьмин С.В., Шнайдер И.В., Кыштымов И.В. Выявление опасных зон при проходке подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях. *Горный журнал*. 2024;(1):45–49. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.07>
Kuzmin S.V., Shnaider I.V., Kyshtymov I.V. Detection of hazardous zones in development headings in difficult geological conditions. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):45–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.07>

4. Левин Л.Ю., Семин М.А., Паршаков О.С. Совершенствование методов прогнозирования состояния ледопородного ограждения строящихся шахтных стволов с использованием распределенных измерений температуры в контрольных скважинах. *Записки Горного института*. 2019;237:268–274. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.274>
Levin L.Y., Semin M.A., Parshakov O.S. Improving methods of frozen wall state prediction for mine shafts under construction using distributed temperature measurements in test wells. *Journal of Mining Institute*. 2019;237:268–274. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.3.274>
5. Арыстан И.Д., Абеуов Е.А., Абдрашев Р.М., Матаев А.К. Крепление горизонтальных горных выработок в условиях шахт Донского ГОКа. В кн.: Гвоздкова Т.Н. (ред.) Современные тенденции и инновации в науке и производстве: сб. материалов 8-й междунар. науч.-практ. Конф., г. Междуреченск, 3–4 апр. 2019 г. Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева; 2019. С. 126.1–126.7.
6. Мажитов А.М., Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Боровиков Е.В., Струков И.Н. Метод одностадийной проходки восстающего при одновременном формировании отрезного компенсационного пространства. *Рациональное освоение недр*. 2022;(5):46–51.
Mazhitov A.M., Pytalev I.A., Domozhirov D.V., Borovikov E.V., Strukov I.N. Single-stage rising method with the simultaneous formation of a cutoff compensation space. *Ratsionalnoe Osvoenie Nedr*. 2022;(5):46–51. (In Russ.)
7. Лисковец А.С., Тациенко В.П., Мешков А.А. Направления развития и совершенствования тампонажной крепи. *Горная промышленность*. 2020;(2):88–93. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-88-93>
Liskovets A.S., Tatsienko V.P., Meshkov A.A. Directions of development and improvement of grouting support. *Russian Mining Industry*. 2020;(2):88-93. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-2-88-93>
8. Дашко Р.Э., Каган А.А. *Механика грунтов в инженерно-геологической практике*. М.: Недра; 1977. 237 с.
9. Proctor R.V., White T.L. *Rock tunneling with steel supports with an introduction to tunnel geology*. Youngstown, Ohio; 1946. 271 p.
10. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Мараханов А.В., Карасев П.С., Рогожин Е.А., Имаев В.С. и др. Детальные геолого-геофизические исследования зон активных разломов и сейсмическая опасность Южно-Якутского региона. *Тихоокеанская геология*. 2009;28(4):55–74.
Ovsyuchenko A.N., Marakhanov A.V., Karasev P.S., Rogozhin E.A., Trofimenko S.V., Nikitin V.M. et al. Detailed geological-geophysical studies of active fault zones and the seismic hazard in the South Yakutia region. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2009;3(4):356–373. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S1819714009040046>
11. Еременко В.А., Гахова Л.Н., Лушников В.Н., Есина Е.Н., Семенякин Е.Н. Формирование зон концентрации высоких напряжений при разработке месторождений с гравитационно-тектоническим исходным напряженным состоянием массива горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(9):5–16.
Eremenko V.A., Gakhova L.N., Louchnikov V.N., Esina E.N., Semenyakin E.N. Initiation of higher stress zones in mining under gravitational tectonic stresses of the intact rock mass. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(9):5–16. (In Russ.)
12. Козырев А.А., Семенова И.Э., Аветисян И.М. Геомеханическое обоснование выемки запасов глубоких горизонтов Кукисвумчоррского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(4):143–155.
Kozyrev A.A., Semenova I.E., Avetisyan I.M. Geomechanical substantiation of deep-level mining at Kukisvumchorr deposit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(4):143–155. (In Russ.)

Информация об авторах

Насыров Равиль Шаукатович – начальник шахты «Десятилетия независимости Казахстана», Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан.

Третьяк Анатолий Викторович – начальник научно-инженерного центра Донской ГОК (филиал АО «ТНК «Казхром»), г. Хромтау, Республика Казахстан.

Неугомонов Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

Мажитов Артур Маратович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

Information about the authors

Ravil Sh. Nasyrov – Head of the ‘10th Anniversary of Kazakhstan’s independence’ mine, Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

Anatoly V. Tretyak – Head of Research and Engineering Centre, Donskoy Mining and Processing Plant (branch of TNC KAZCHROME JSC), Khromtau, Republic of Kazakhstan

Sergey S. Neugomonov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Artur M. Mazhitov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

Article info

Received: 03.04.2024

Revised: 16.05.2024

Accepted: 18.05.2024

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.04.2024

Поступила после рецензирования: 16.05.2024

Принята к публикации: 18.05.2024