

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ДОСТУПНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

В.И. Голик¹, Ю.В. Дмитрак¹, О.З. Габараев¹, В.В. Вернигор¹

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

Аннотация: Актуальность проблемы обеспечения горных предприятий сырьем для приготовления твердеющих закладочных смесей при подземной разработке рудных месторождений полезных ископаемых с заполнением выработанного пространства объясняется стремлением увеличить диапазон этой природоохранной технологии. Целью работ в затронутом направлении является детализация концепции использования и эффективности использования отходов горного и смежных ему производств в качестве компонентов закладочных смесей. В ходе анализа определяется роль твердеющих закладочных смесей на основе местных доступных минералов в управлении состоянием рудовмещающих массивов. Сформулирован критерий эколого-экономической эффективности горных технологий как способности сохранить земную поверхность от разрушения при извлечении горной массы из недр. Сформулированы методы управления состоянием рудовмещающих массивов. Даны сведения о ранжировании твердеющих смесей по прочности в зависимости от выполняемых функций. Приведена характеристика технологии извлечения металлов механохимической активацией в дезинтеграторе. Дана схема повышения активности компонентов твердеющих смесей на закладочных комплексах. Рекомендованы экономико-математические модели и номограммы для определения эффективности утилизации некондиционного сырья при изготовлении твердеющих смесей. При разработке месторождений подземным способом для управления рудовмещающим массивом закладкой выработанного пространства твердеющими смесями может быть экономически и экологически целесообразным использование некондиционных компонентов твердеющих смесей из местных доступных дешевых минералов.

Ключевые слова: подземная разработка, твердеющая смесь, вяжущая добавка, некондиционные компоненты.

Для цитирования: Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Вернигор В.В. Эффективность утилизации доступного сырья для изготовления твердеющих закладочных смесей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11-1. – С. 85–93. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-85-93.

Efficient reclamation of available raw material in cemented backfill production

V.I. Golik¹, Yu.V. Dmitrak¹, O.Z. Gabaraev¹, V.V. Vernigor¹

¹ North-Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Vladikavkaz, Russia

Abstract: The urgency of the problem of providing mining enterprises with raw materials for the preparation of hardening filling mixtures during underground mining of ore mineral deposits with filling up the worked out space is explained by the desire to increase the range of this environmental protection technology. The aim of the work in the affected direction is to detail the concept of use and efficiency of use of mining waste and related production as components of filling mixtures. The analysis determines the role of hardening filling mixtures based on locally available minerals in managing the state of ore-bearing massifs. A criterion for the environmental and economic efficiency of mining technologies is formulated as the ability to save the earth's surface from destruction when extracting the rock mass from the bowels. Methods for managing the state of ore-bearing massifs are formulated. Information is given on the ranking of hardening mixtures by strength depending on the functions performed. The characteristic of metal extraction technology by mechanochemical activation in a disintegrator is given. A scheme is given for increasing the activity of the components of hardening mixtures in filling complexes. Economic – mathematical models and nomograms are recommended to determine the efficiency of utilization of substandard raw materials in the manufacture of hardening mixtures. When developing deposits using the underground method for managing the ore-bearing mass by laying the mined-out area with hardening mixtures, it may be economically and environmentally sound to use substandard components of hardening mixtures from locally available cheap minerals.

Key words: nderground mining, hardening mixture, cementitious additive, substandard components.

For citation: Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Vernigor V.V. Efficient reclamation of available raw material in cemented backfill production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):85-93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-85-93.

Цель работы

Проблема рационального использования природных ресурсов при обеспечении безопасности жизнедеятельности человека и сохранении окружающей среды особенно актуальна для горного производства в силу его масштабности и важности для развития страны [1 – 2].

Достоинства технологий с заполнением выработанного пространства закладочным материалом увеличили масштабы их применения и породили проблему обеспечения сырьем для приготовления смесей. Добыча вяжущих и инертных компонентов твердеющих смесей осуществляется также горными работами в карьерах и рудниках, поэтому стало актуальным направление изготовления твердеющих смесей на основе отходов горного и смежных ему производств, в первую очередь, хвостов обогащения руд [3 – 5].

Практикой разработки месторождений установлено отставание возможностей переработки минерального сырья от возможностей его добычи из недр, что подтверждается накоплением хвостов переработки на земной поверхности.

Целью исследований данного направления является детализация и развитие концепции природо- и ресурсосбережения при подземной разработке рудных месторождений.

Для достижения цели применяется опыт использования малоактивных компонентов твердеющих закладочных смесей на предприятиях развитых добывающих отраслей, например, атомной отрасли СССР, которые получили прорывное развитие в дореформенный период.

Полученные результаты

Последствия эксплуатации месторождений влияют на все этапы про-

ведения горных работ. Эколого-экономическая эффективность горных технологий зависит от способности предотвратить разрушение земной поверхности при развитии в массиве напряжений и соответствующих им деформаций [6–7].

Эффективность технологий определяют возникающие связи между объемом извлекаемых руд, состоянием выработанного пространства, величиной потерь руд, объемом разубоживающих пород и величиной ущерба окружающей среде. Выбор системы разработки месторождения заключается в нахождении варианта с минимальными затратами на извлечение руд, обеспечением сохранности земной поверхности, снижением потерь руды и получением максимальной прибыли [8–9].

При извлечении руд в горных породах возникают зоны деформации, влияющие на состояние пород и земной поверхности над ними. Деформации могут быть обратимыми, когда первоначальное состояние восстанавливается со временем, и необратимыми, когда

восстановления вследствие релаксации не происходит. Формы негативного воздействия горных работ включают в себя сдвигание или плавное оседание земной поверхности, снос пород и почвы со склонов гор и рассеяние загрязняющих веществ в окрестностях месторождения.

Нарушение природного равновесия горными работами инициирует природные катаклизмы. Такой катастрофой может быть сход с высоты 4 000 метров ледника Колка объемом более 150 млн кубометров и высотой более 100 метров в 2002 году в Кармадонском ущелье Северной Осетии. Ледник образовал геологический массив длиной до 33 км и шириной 400 м. От дальнейшего истечения ледника спасло резкое сужение ущелья на пути его следования.

Главным фактором управления массивом пород становится учет и регулирование их геодинамического состояния. Динамика развития напряжений и деформаций регулируется технологическими приемами в процессе горных работ (табл. 1).

Таблица 1

Методы управления состоянием рудовмещающих массивов

Methods for managing the state of ore-containing arrays

Тип	Варианты	Подварианты	Условия применения
Инъектирование вяжущими компонентами	По виду реагента	Акрилаты	Разрушенный скальный массив
		Цемент	
		Полиуретан	
	По времени	Предварительное	
		Одновременное	
		Отстающее	
	По объему	Весь массив	
		Часть массива	
		Периметр	
	По способу	Однокомпозиционный	
Поликомпозиционный			

Окончание табл. 1

Тип	Варианты	Подварианты	Условия применения
Перекрытия	По выполняемой функции	Несущие	Разрушенный скальный массив
		Разделяющие	
	По материалу	Дерево-канатные	
		Металлические	
		Прочие	
	По конструкции	Сплошные	
Сетчатые			
Вантовые			
Потолочины	По конструкции	Сводчатые	Скальный массив
		Плитчатые	
	По углу наклона	Горизонтальные	
		Наклонные	
	По времени	Опережающие	
		Одновременные	
Отстающие			
Целики	По материалу	Рудные	Ненарушенный скальный массив
		Породные	
		Бетонные	
	По функции	Разделяющие	
		Охранные	
		Барьерные	
	По времени	Временные извлекаемые	
		Постоянные оставляемые	

Теория и практика горного производства совершенствуется от использования простого оставления целиков в выработанном пространстве до применения новых способов, возникающих благодаря достижениям научно-технического прогресса. Так, при разработке месторождения «Восток» (Северный Казахстан) при отработке массивной залежи системой с обрушением руд было применено гибкое канатно-металлическое перекрытие (рис. 1).

На состояние районов добычи минерального сырья влияют события не только технологического характера. Так, изменение экономического уклада хозяйствования и приватизация горных предприятий нарушили единую схему

управления производством, что в регионах активной добычи, например, Донбасс, способствовало разрушению земной поверхности. Интенсификация добычи угля в Кузнецком бассейне активизировала частоту и силу горных ударов [10–11].

Радикальная управляемость разрабатываемыми массивами обеспечивается при погашении пустот твердеющими смесями, прочность которых зависит от выполняемых ими функций. По нашему мнению, для создания бокового распора стенкам при крутом падении пустот и перевода геоматериалов в режим объемного сжатия достаточны малопрочные смеси (до 1,2 МПа). В случае пригрузки породами

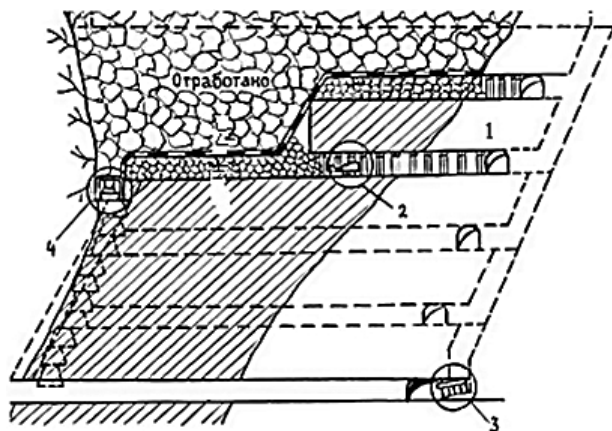


Рис. 1. Система подэтажного обрушения с канатно-металлическим перекрытием: 1 – руда; 2 – погрузочная машина; 3 – вибро-люк; 4 – машина для монтажа перекрытия
 Fig. 1. System of sub-storey collapse with a rope-metal floor: 1 – ore; 2 – loading machine; 3 – vibration hatch; 4 – machine for installation of the floor

в пределах свода предельного пролета естественного равновесия применяют прочные смеси (в пределах 1,2 – 2,5 МПа). В случае пригрузки породами до поверхности применяются высокопрочные смеси (более 2,5 МПа).

Затраты на погашение пустот существенно сокращаются за счет феномена твердения хвостов подземного выщелачивания в блоках, которые благодаря природным минеральным вяжущим набирают прочность 0,5 – 1,0 МПа и представляют собой аналог твердеющей закладочной смеси.

Первый опыт утилизации хвостов обогащения показал, что использование хвостов обогащения без извлечения из них оставшихся после переработки металлов экономически нецелесообразно, тем более, что в хвостах остаются наиболее дефицитные и дорогие редкоземельные металлы. Появились новые способы извлечения металлов из убогого по содержанию сырья, например, реагентное выщелачивание в дезинтеграторах. Этот процесс совмещается с повышением активности хвостов в рамках комбинированной механохимической активации (рис. 2).

Эффективность применения твердеющих смесей обеспечивается совершенствованием способов их приготовления и транспортировки, включающих частичную замену цемента вяжущими компонентами из отходов производства и применение некондиционных заполнителей с повышением их активности в ходе подготовки закладочных смесей на бетонных комплексах (рис. 3) [12 – 15].

Эффективность технологии разработки (\mathcal{E}_T) в общем виде складывается совокупностью факторов, руб./м³:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_э,$$

где \mathcal{E}_3 – снижение затрат на закладку выработанного пространства за счет использования отходов добычи и переработки руд, руб./м³; \mathcal{E}_c – снижение затрат на поддержание сооружений на земной поверхности за счет минимизации риска ее разрушения горными работами, руб./м³; $\mathcal{E}_э$ – снижение затрат на выплату компенсационных средств на сохранение окружающей среды при нарушении ее экосистем горными работами, руб./м³.

Экономический эффект использования утилизируемых компонентов в составе твердеющей смеси:

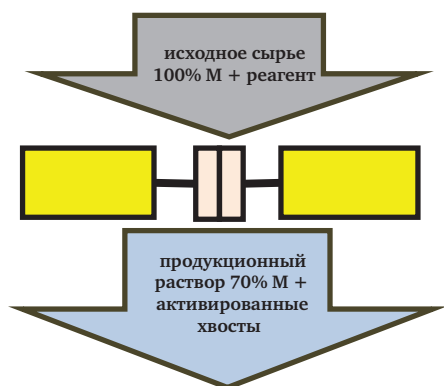


Рис. 2. Выщелачивание металлов из хвостов обогащения в дезинтеграторе
Fig. 2. Leaching of metals from tailings in the cage

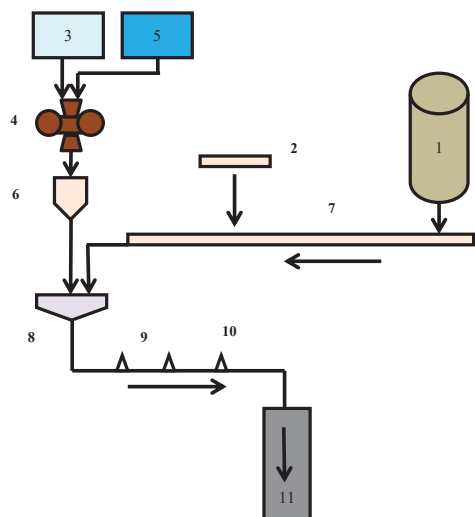


Рис. 3. Схема приготовления смесей: 1 – бункер для цемента; 2 – виброгрохот для инертных заполнителей; 3 – доменный шлак; 4 – дезинтегратор; 5 – очищенная вода; 6 – вибромельница; 7 – конвейер; 8 – смеситель; 9 – закладочный трубопровод; 10 – вибраторы; 11 – место укладки

Fig. 3. Mixing Scheme: 1 – cement hopper; 2 – vibrating screen for inert aggregates; 3 – blast furnace slag; 4 – disintegrator; 5 – purified water; 6 – vibrating mill; 7 – conveyor; 8 – mixer; 9 – filling pipeline; 10 – vibrators; 11 – laying place

$$\mathcal{E} = [(C_{\text{ТВ}} - C_{\text{УВ}}) + (C_{\text{ТИ}} - C_{\text{УИ}})]A,$$

где \mathcal{E} – эффективность замены компонентов, руб./м³; $C_{\text{ТВ}}$ – цена товарных вяжущих компонентов, руб./т; $C_{\text{УВ}}$ – цена утилизируемых вяжущих компонентов, руб./т; $C_{\text{ТИ}}$ – цена товарных инертных компонентов, руб./т; $C_{\text{УИ}}$ – цена утилизируемых инертных компонентов, руб./т; A – производительность закладочного комплекса, т/год;

Экономический эффект использования хвостов подземного выщелачивания в качестве твердеющей смеси:

$$\mathcal{E}_{\text{хпв}} = Q_{\text{хпв}} K_p K_k C,$$

где $Q_{\text{хпв}}$ – объем выщелоченных руд, м³; K_p – коэффициент разрыхления руд после выщелачивания; K_k – коэффициент компрессии хвостов блокового выщелачивания; C – цена твердеющей смеси, руб./м³.

Использование хвостов подземного выщелачивания в качестве закладки позволяет экономить руднику средней производственной мощности (200 т/год) около 5–10 тыс. т цемента в год.

Результаты исследования коррелируют с результатами исследований Российских и зарубежных авторов [16–18].

Выводы

Закладочные смеси на основе местных доступных минералов могут быть использованы в системе управления состоянием рудовмещающих массивов при подземной разработке рудных месторождений с созданием эколого-экономического эффекта от замены товарных компонентов смеси отходами производства. Использование вяжущих и инертных добавок является природоохранным и ресурсосберегающим мероприятием и заслуживает реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jarvie-Eggart M.E.* Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World // Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
2. *Голик В.И., Разоренов Ю.И., Каргинов.* Основа устойчивого развития РСО-Алания – горнодобывающая отрасль// Устойчивое развитие горных территорий. – Владикавказ. 2017. – №2(32). – С.163–172.
3. *Golik V.I., Gabaraev O.Z., Maslennikov S.A., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P.* The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. The Social Sciences (Pakistan). 2016. T. 11. No. 18. Pp. 4348 – 4351. [In Russ]
4. *Sheshpari M.* A Review of Underground Mine Backfilling Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfill // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 20. No. 13. P. 5183–5208.
5. *Голик В.И., Цидаев Б.С., Логачев А.В.* Повышение рентабельности добычи нефти за счет диверсификации технологий. Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т.11. №1 (39). С.98–104. [In Russ].
6. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Обеспечение геомеханической безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений // ГИАБ. – 2017. – №6. – С. 213–219.
7. *Привалов А.А., Хакулов В.А., Попов В.В., Ягодкин Ф.И.* Геомеханические процессы в приконтурном массиве горных выработок // ГИАБ. – 2017. – №8. – С. 212–218.
8. *Doifode S.K., Matani A.G.* Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment // International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2015. Vol. 4. Special Issue. NCSC.P. 536 – 540.
9. *Белодедов А.А., Должиков П.Н., Легостаев С.О.* Анализ механизма образования деформаций земной поверхности над горными выработками закрытых шахт // Известия ТулГУ. – Науки о Земле. – Вып. 1. – 2017. – С.153–160.
10. *Golik V.I., Gabaraev O.Z., Maslennikov S.A., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P.* The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development // The Social Sciences (Pakistan). – 2016. –Т. 11. – № 18. – Pp. 4348 – 4351.
11. *Khasheva Z.M., Golik V.I.* The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus // International Business Management. 2015. T. 9. № 6. С. 1210–1216.
12. *Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V.* Mining impact on environment on the North Ossetian territory // International Journal of GEOMATE. 2016. T. 10. № 1. С. 1693–1697.
13. *Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П.* Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. –№ 6. –С. 184–188.
14. *Ермолович О.В., Ермолович Е.А.* Композиционные закладочные материалы с добавкой из механоактивированных отходов обогащения // Известия ТулГУ. – Науки о Земле. – 2016. –Вып.3. – С.13–24.
15. *Голик В., И., Цидаев Б.С., Логачев А.В.* Повышение рентабельности добычи нефти путем диверсификации технологий // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т.11. – №1(39) – С.98–104.
16. *Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T.* Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. 2017. Vol. 61. P. 40–57.

17. Дмитрак Ю.В., Выскребенец А.С., Тарасов М.А. Определение энергетических параметров рабочего органа выемочной машины при комбинированном способе разрушения массива горной породы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — № 4 (специальный выпуск 12). — 2018. — С.12–17.

18. Филин А.Э., Дзеранов К.Б., Мешков Е.И., Вернигор В.В. Об унификации методов и средств обеспечения безопасности труда, применяемых в горной и металлургической отрасли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — № 4 (специальный выпуск 12). — 2018. — С.18–24. **МИАБ**

REFERENCES

1. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2015. 804 p.

2. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov. The basis of sustainable development of North Ossetia-Alania is the mining industry. Sustainable development of mountain territories. Vladikavkaz. 2017. no. 2 (32). Pp.163–172. [In Russ].

3. Golik V.I., Gabaraev O.Z., Maslennikov S.A., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2016. T. 11. no. 18. Pp. 4348 – 4351. [In Russ]

4. Sheshpari M. A Review of Underground Mine Backfilling Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfill. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2015. Vol. 20. no. 13. Pp. 5183–5208.

5. Golik V., I., Tsidaev B.S., Logachev A.V. Improving the profitability of oil production through technology diversification. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T.11. no. 1 (39). pp. 98–104. [In Russ].

6. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Ensuring geomechanical safety during the construction and operation of underground structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. no. 6. pp. 213–219. [In Russ].

7. Privalov A.A., Khakulov V.A., Popov V.V., Yagodkin F.I. Geomechanical processes in the near-edge array of mine workings. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. no. 8. pp. 212–218. [In Russ].

8. Doifode S.K., Matani A.G. Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2015. Vol. 4. Special Issue. NCSC. Pp. 536–540.

9. Belodedov A.A., Dolzhikov P.N., Legostaev S.O. Analysis of the mechanism of the formation of deformations of the earth's surface above the mine workings of closed mines. *Izvestiya TulGU. Earth sciences*. Vol. 1. 2017. pp.153–160. [In Russ].

10. Golik V.I., Gabaraev O.Z., Maslennikov S.A., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2016. T. 11. no. 18. pp. 4348 – 4351.

11. Khasheva Z.M., Golik V.I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*. 2015. T. 9. no. 6. pp. 1210–1216.

12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the north ossetian territory. *International Journal of GEOMATE*. 2016.V. 10. no. 1. pp. 1693–1697. [In Russ].

13. Dmitrak Yu.V., Verzhansky A.P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2000. no. 6. pp. 184–188. [In Russ].

14. Ermolovich O.V., Ermolovich E.A. Composite filling materials with the addition of mechanically activated enrichment waste. Bulletin of the State University. *Earth sciences*. 2016. Issue 3. pp.13–24. [In Russ].

15. Golik V., I., Tsidaev B.S., Logachev A.V. Improving the profitability of oil production through technology diversification. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T.11. no. 1 (39). pp. 98–104.

16. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterization: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017. Vol. 61. pp. 40–57.

17. Dmitrak Yu. V., Vyskrebenets A.S., Tarasov M.A. Determination of the energy parameters of the working body of a mining machine with a combined method of destruction of a rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 4 (special issue 12). pp. 12–17. [In Russ].0

18. Filin A.E., Dzeranov K.B., Meshkov E.I., Vernigor V.V. On the unification of methods and means of ensuring labor safety used in the mining and metallurgical industries. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* . 2018. no. 4 (special issue 12). pp. 18–24. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Гolik Владимир Иванович*¹ — докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры «Горное дело», v.i.golik@mail.ru;

*Дмитрак Юрий Витальевич*¹ — докт. техн. наук, профессор, ректор, dmitrak@yandex.ru;

*Габараев Олег Знаурович*¹ — докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Горное дело», gabaraev59@mail.ru;

*Вернигор Владимир Владимирович*¹ — аспирант

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, г. Владикавказ, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Golik V.I.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor, Department of Mining, v.i.golik@mail.ru;

*Dmitrak Yu.V.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector, dmitrak@yandex.ru;

*Gabaraev O.Z.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head. Department of “Mining”, gabaraev59@mail.ru;

*Vernigor V.V.*¹, graduate student;

¹ North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia, 362021, North Ossetia-Alania, Vladikavkaz.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 16.06.2020; принята к печати 10.10.2020.

Received by the editors 26.05.2020; received after the review 16.06.2020; accepted for printing 10.10.2020.

