

Эффективность использования расширяющейся заиловочной пульпы для изоляции пожаров в шахтах Республики Казахстан

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-53-57>

В статье выявлены факторы, влияющие на эффективность изолирующих сооружений в шахтах. Для предотвращения усадок пульпы в ее традиционный состав, состоящий из глины, песка и воды, предлагается добавить негашеную известь. Установлено, что присутствие в пульпе примерно 5-7% негашеной извести позволяет предотвратить ее усадку, а наличие в пульпе 20-25% негашеной извести позволяет вспучивать пульпу примерно на 20% по объему. Проведены экспериментальные исследования по выявлению аэродинамического сопротивления пористых слоев материалов. Определены воздухопроницаемость пульпы и влияние негашеной извести на расширение смеси пульпы, воздухопроницаемость различных составов заиловочной пульпы, включая составы, используемые для возведения фильтрующих перемычек. Установлено, что наименьшей воздухопроницаемостью обладает пульпа, имеющая в своем составе негашеную известь.

Ключевые слова: изолирующее сооружение, воздухопроницаемость, двойная перемычка, состав пульпы, герметичность, эндогенный пожар.

Для цитирования: Эффективность использования расширяющейся заиловочной пульпы для изоляции пожаров в шахтах Республики Казахстан / З.С. Гельманова, Л.В. Горшкова, Л.Д. Рудник и др. // Уголь. 2022. № 4. С. 53-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-53-57.

ВВЕДЕНИЕ

В практике эксплуатации угольных шахт широкое применение получили изолирующие перемычки как для решения задач регулирования воздухораспределения в шахтных вентиляционных сетях [1], так и для недопущения поступления воздуха в выработанные пространства с целью предотвращения эндогенных пожаров [2]. Однако в сложных геологических и горнотехнических условиях применение изолирующих перемычек не всегда устраняет под-

ГЕЛЬМАНОВА З.С.

Канд. экон. наук,
профессор кафедры «Строительство, экономика и бизнес»
Карагандинского индустриального университета,
101400, г. Тимиртау, Республика Казахстан,
e-mail: zoyakgiu@mail.ru

ГОРШКОВА Л.В.

Канд. техн. наук,
профессор кафедры «ПГТС»,
Торайгыров университет,
140008, г. Павлодар, Республика Казахстан

РУДНИК Л.Д.

Старший преподаватель
кафедры «Строительство»
Карагандинского индустриального университета,
101400, г. Тимиртау, Республика Казахстан

МЕЗЕНЦЕВА А.В.

Старший преподаватель
кафедры «Строительство»
Карагандинского индустриального университета,
101400, г. Тимиртау, Республика Казахстан

сосы воздуха в выработанное пространство, более того, изолирующие сооружения могут подвергаться статическим и динамическим нагрузкам [3, 4], вызванным воздействиями напорных вод, сейсмическим и ударным волнам от взрывов большого количества взрывчатых веществ и горючих газов [5, 6].

На пластах угля, склонного к самовозгоранию, применяют двойные перемычки с заиливанием, чтобы изолировать отработанные участки [7]. Использование двойных перемычек с заилкой пульпы позволяет значительно сократить поток воздуха, увеличить герметичность подземного сооружения и снизить его материалоемкость, стоимость и трудоемкость.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Множество работ посвящено применению различных типов перемычек для изоляции отработанных участков [8, 9, 10]. Анализ литературных источников показывает, что основные прососы воздуха через двойные перемычки, заполненные пульпой, происходят из-за постоянной усадки пульпы, даже в месте возведения перемычки, где они не подвергаются интенсивным нагрузкам.

Основным недостатком двойных перемычек с заиливанием является усадка пульпы с течением времени (до 20% за четыре недели). Через 1-3 месяца после заполнения пульпы усадки могут быть значительными, что снижает эффективность изоляции отработанных участков.

Для изоляции подземных сооружений широкое распространение получили временные двойные перемычки с заилкой пульпы (глины и суглинков). Перемычки этой конструкции состоят из двух стен, возводимых на расстоянии 5 м друг от друга. Пространство, заполненное между двумя стенками, не всегда обеспечивает надежную защиту от потока воздуха и его прососов.

С целью уменьшения воздухопроницаемости двойной перемычки и ускорения работ по ее устройству некоторое распространение получили конструкции с уплотнением состава пульпы взрывчатыми веществами. По трудоемкости изготовления и расходу основных материалов эти конструкции являются эффективными по воздухопроницаемости [8, 11]. Однако используемые взрывчатые вещества затрудняют внедрение этих конструкций, что вызывает необходимость поиска новых, более эффективных материалов и средств изоляции. Статья посвящена совершенствованию способов изоляции горизонтальных выработок и исследованию воздухопроницаемости разных видов заилочного материала с последующим определением эффективности их использования в конструкциях шахтных перемычек, предназначенных для изоляции отработанных участков.

Для предотвращения усадок пульпы в ее традиционный состав, состоящий из глины, песка и воды, предлагается добавить негашеную известь, имеющую способность расширяться после взаимодействия с водой. В первой серии экспериментов выявилось влияние количества негашеной извести на вспучиваемость (увеличение пульпы в объеме) при одинаковом количестве глины, песка и воды. В экспериментах использовалась глина с раз-

личными числами пластичности (7-9) и (10-11). При проведении опытов формировался состав: глина фракции 0,01-2 мм с числом пластичности 7-9, сухой песок фракции 0,01-0,2 мм, негашеная известь фракции 0,02-2 мм, шахтная вода $pH = 7$ с примесями.

Сыпучие материалы высыпались в металлический цилиндр высотой 75 мм, диаметром 70 мм. Все тщательно перемешивалось, а затем добавлялась вода. В первых двух опытах (*табл. 1*) гашеная известь не добавлялась в состав пульпы. Через двое суток наблюдалась усадка. В опытах 3, 4 вода из цилиндра снизу протекала, происходили быстрая реакция и фильтрация воды (цвет воды был светлый) с выделением теплоты. Опыт 5 проходил по времени чуть больше, но наблюдалась фильтрация воды (цвет белый) с увеличением выделения тепла от металлического цилиндра. В опыте 6 не наблюдалась фильтрация воды, происходило заметное вспучивание по сравнению с первыми тремя опытами, также происходило выделение теплоты. Опыт 7 был проведен сначала с добавлением 200 мм воды, но ее оказалось недостаточно, чтобы заилить весь состав исследуемого материала, затем было добавлено еще 50 мм воды. Опыт 7 был проведен повторно, но уже с добавлением 250 мм воды, реакция гашения извести проходила бурно, по сравнению с опытами 1-5, тоже с выделением теплоты. В опыте 8 происходило максимальное по весу гашение извести, реакция протекала дольше по времени, с большим выделением теплоты, на поверхности образовывалась пористость в крупинках гашеной извести.

С увеличением содержания извести в составе пульпы увеличивается объем пульпы, и при этом увеличивается объем воды для гашения извести, а также увеличивается время коагуляции исследуемого состава. При отсутствии извести наблюдается усадка пульпы (опыты 1, 2). В процессе проведения опытов установлено, что добавление негашеной извести (примерно 5% от веса пульпы) предотвращает ее усадку.

Для проведения дальнейшей серии исследований были взяты глина фракции 0,01-2 мм, но с числом пластичности 10-11, сухой песок фракции 0,01-0,2 мм, негашеная известь фракции 0,02-2 мм, шахтная вода $pH = 7$ с примесями. Результаты эксперимента приведены в *табл. 2*.

Из анализа данных *табл. 2* следует, что фильтрация пульпы происходит медленнее, чем в предыдущих опытах, увеличиваются масса грунта и вспучивание пульпы. Можно сделать вывод, что при большем числе пластичности глины с добавлением сыпучих материалов изменяется время коагуляции, что уменьшает пропускную способность воздуха в изолированное пространство.

На основании данных *табл. 1* и *2* построен график (*см. рисунок*), характеризующий вспучиваемость объема пульпы ($\Delta V, \%$) в зависимости от количества негашеной извести в ней (при использовании глины с различным числом пластичности).

Из анализа данных графика следует, что присутствие в пульпе примерно 5-7% негашеной извести позволит предотвратить ее усадку, а при наличии в пульпе 20-25% негашеной извести позволит вспучивать пульпу примерно на 20% по объему.

Таблица 1

Влияние содержания извести на объем вспучивания пульпы с числом пластичности глины 7-9

| Номер опыта | Глина, г | Песок, г | Известь, г | Вода, мл | Время реакции, мин | Вес, г | Вес грунта после смешивания материалов, г | Вспучивание по высоте, мм |
|-------------|----------|----------|------------|----------|--------------------|--------|---|---------------------------|
| 1 | 100 | 30 | - | 200 | 5 | 130 | 330 | -4 |
| 2 | 100 | 30 | - | 200 | 6,2 | 130 | 330 | -5 |
| 3 | 100 | 30 | 70 | 200 | 6,6 | 200 | 375 | 2,6 |
| 4 | 100 | 30 | 80 | 200 | 7 | 210 | 382 | 4 |
| 5 | 100 | 30 | 90 | 200 | 7,4 | 220 | 398 | 6,4 |
| 6 | 100 | 30 | 100 | 200 | 7,9 | 230 | 410 | 10 |
| 7 | 100 | 30 | 110 | 250 | 8,3 | 240 | 423 | 12 |
| 8 | 100 | 30 | 120 | 250 | 8,9 | 250 | 457 | 12,5 |

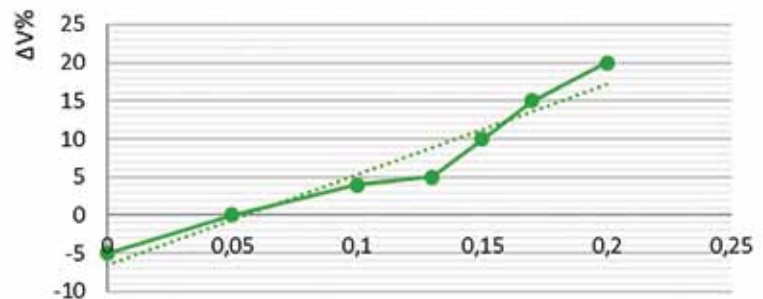
Таблица 2

Влияние содержания извести на объем вспучивания пульпы с числом пластичности глины 10-11

| Номер опыта | Глина, г | Песок, г | Известь, г | Вода, мл | Время реакции, мин | Вес, г | Вес грунта после взаимодействия материалов, г | Вспучивание по высоте, мм |
|-------------|----------|----------|------------|----------|--------------------|--------|---|---------------------------|
| 1 | 100 | 30 | 50 | 200 | 5,3 | 180 | 338 | 2,1 |
| 2 | 100 | 30 | 60 | 200 | 6,5 | 190 | 349 | 2,4 |
| 3 | 100 | 30 | 70 | 200 | 6,9 | 200 | 377 | 2,8 |
| 4 | 100 | 30 | 80 | 200 | 7,3 | 210 | 391 | 4,3 |
| 5 | 100 | 30 | 90 | 200 | 7,7 | 220 | 396 | 7,2 |
| 6 | 100 | 30 | 100 | 200 | 8,4 | 230 | 412 | 10,2 |
| 7 | 100 | 30 | 110 | 250 | 8,8 | 240 | 426 | 12,4 |
| 8 | 100 | 30 | 120 | 250 | 9,3 | 250 | 452 | 12,9 |

В последней серии экспериментов в заиловочную пульпу добавлялись зола фракции 0,01-0,2 мм, глина фракции 0,01-2 мм с числом пластичности 10-11, сухой песок фракции 0,01-0,2 мм, негашеная известь фракции 0,02-2 мм, шахтная вода pH = 7 с примесями. Результаты опытов (табл. 3) свидетельствуют, что добавка золы способствует увеличению объема пульпы, ее вспучиванию и увеличению поглощения воды. При увеличении содержания извести на 30 г (опыт 2) наблюдается недостаточно воды, поэтому в дальнейших опытах (опыты 3, 4) добавляем воду. Реакция взаимодействия сыпучих материалов протекает с выделением теплоты [12], и на поверхности происходит налет золы.

Эффективность использования существующей и предложенной вспучивающейся заиловочной пульпы была проверена на шахте Карагандинской области Республики Казахстан. Двойная перемычка состояла из двух эф-



отношение веса извести к общему весу пульпы

Зависимость увеличения объема пульпы от отношения массы извести к общей массе пульпы

фективных стенок опалубки, расстояние между которыми было равно 0,4 м. Пространство между стенами перемычки заполнялось двумя видами пульпы: обычной и вспучивающейся. В результате эксперимента опреде-

Таблица 3

Влияние содержания извести и золы на увеличение объема пульпы с числом пластичности глины 10-11

| Номер опыта | Глина, г | Зола, г | Песок, г | Известь, г | Вода, мл | Время реакции, мин | Вес, г | Вес грунта после взаимодействия материалов, г | Вспучивание по высоте, мм |
|-------------|----------|---------|----------|------------|----------|--------------------|--------|---|---------------------------|
| 1 | 100 | 20 | 30 | 30 | 200 | 5,5 | 180 | 358 | 2,2 |
| 2 | 100 | 30 | 30 | 60 | 200 | 6,7 | 220 | 359 | 2,4 |
| 3 | 100 | 50 | 30 | 80 | 250 | 7,2 | 280 | 392 | 3 |
| 4 | 100 | 100 | 30 | 100 | 250 | 8,5 | 330 | 423 | 4,7 |

Результаты экспериментов по исследованию коэффициентов воздухопроницаемости

| Тип перемычки в горизонтальной выработке | Коэффициент воздухопроницаемости, кг/(м·Па·ч) | Примечание |
|--|---|--|
| Две перемычки (без заилочки) | 0,00360 | Отстой 1 день |
| Заполнение пространства между стенами перемычки сыпучим материалом | 0,0029 | Отстой 3 дня |
| Заполнение пространства между стенами перемычки традиционной пульпой | 0,0018 | Отстой 3 дня (появился просвет сверху перемычки за счет оседания пульпы) |
| Заполнение пространства между стенами перемычки вспучивающейся пульпой | 0,008 | Отстой 6 дней (просветов по периметру перемычки нет) |

лялся коэффициент воздухопроницаемости этих сооружений (табл. 4). Представленные характеристики процесса фильтрации воздуха целесообразно использовать при прогнозе утечек воздуха в выработанное пространство и выявления эндогенной пожароопасности горных выработок [13].

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования выявили значительную усадку традиционной пульпы с течением времени. Установлено, что усадка пульпы, расположенная между ограждающими конструкциями двойной перемычки, является основным источником прососов воздуха в изолированное пространство. Трещиноватость горных пород в месте возведения перемычек является другим источником прососов воздуха.

Рассмотрены конструкции перемычек, применяемых для изоляции горных выработок. В процессе экспериментальных исследований получена эффективность использования расширяющейся заилочной пульпы с наличием в ней негашеной извести. Традиционная по компонентам заилочная пульпа, имеющая в своем составе негашеную известь в количестве 5-7%, практически не обладает усадкой при высыхании. Наличие в составе пульпы более 20% негашеной извести способствует вспучиванию пульпы.

Выявлена воздухопроницаемость различных составов заилочной пульпы, включая составы, используемые для возведения фильтрующих перемычек. Установлено, что наименьшей воздухопроницаемостью обладает пульпа, имеющая в своем составе негашеную известь. В работе использован прибор АГАМА-2Р для экспресс-метода определения воздухопроницаемости материалов. Полученные результаты можно применять на практике. В частности, данные по воздухопроницаемости различных составов, используемых в фильтрующих перемычках, можно использовать для расчета поступления воздуха для людей, оказавшихся в горных выработках, отрезанных от вентиляции вследствие завалов выработок.

Список литературы

1. Баловцев С.В. Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 6. С. 173-183.
2. Trinh L.H., Nguyen V.N. Mapping coal fires using Normalized Difference Coal Fire Index (NDCFI): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam // Mining Science and Technology (Russia). 2021. No 6(4). P. 233–240. URL: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-233-240> (дата обращения: 15.03.2022).
3. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries / A.E. Filin, O.M. Zinovieva, L.A. Kolesnikova et al. // Eurasian Mining. 2018. No. 1. P. 31-34.
4. Prediction of ground subsidence due to underground mining through time using multilayer feed-forward artificial neural networks and back-propagation algorithm – case study at Mong Duong underground coal mine (Vietnam) / Q.L. Nguyen, Q.M. Nguyen, D.T. Tran et al. // Mining Science and Technology (Russia). 2021. No 6(4). P. 241–251. URL: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-241-251> (дата обращения: 15.03.2022).
5. Гасанова Н.Ю., Саямова К.Д., Меликулов А.Д. Анализ изменчивости деформационных свойств массива горных пород и возможность управления ими при различных геотехнологических процессах // Вопросы науки и образования. 2018. № 10. С. 35-39.
6. Ганова С.Д., Скопинцева О.В., Исаев О.Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. С. 109-115.
7. Coal Degas Group, Murray American Energy Inc., Morgantown, West Virginia, USA Available online 11 July 2014. Chapter 8 – Coal Seam Degasification, P. 155-175. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800880-5.00008-5> (дата обращения: 15.03.2022).
8. Рыльникова М.В., Олизаренко В.В., Михальчук А.П. Формирование и сооружение изолирующих перемычек в горных выработках подземных рудников под заполняемым хвостовой пульпой карьером // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 51–1. С.124-137.
9. Куликова А.А., Ковалева А.М. Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 2–1. С. 144–154.
10. Решетняк С.Н., Максименко Ю.М. Анализ материалов упрочнения нарушенных участков углепородного массива при ведении выемочных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 11. С. 39-45.
11. Hashemi S.S., Melkounian N., Taheri A. A borehole stability study by newly designed laboratory tests on thick-walled hollow cylinders // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2015. No. 7(5). P. 519-531.

12. Ovchinnikov V.V. Thermochemistry of Heteroatomic Compounds: Calculation of the heat of Combustion and the heat of Formation of some Bioorganic Molecules with Different Hydrophenanthrene Rows // *Open Journal of Physical Chemistry*. 2011. No.1. P. 1-5.
13. Kordos J. Tests of new method of monitoring endogenous fire hazard in hard coal mines // *Journal of Sustainable Mining*. 2019. No. 18(3). P. 134-141.

Original Paper

UDC 622.82 © Z.S. Gelmanova, L.V. Gorshkova, L.D. Rudnik, A.V. Mezentseva, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 53-57
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-53-57>

Title

EFFICIENCY OF USING EXPANDING SILTING PULP FOR ISOLATING FIRES IN MINES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Authors

Gelmanova Z.S.¹, Gorshkova L.V.², Rudnik L.D.¹, Mezentseva, A.V.¹

¹ Karaganda Industrial University, Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan

² Toraigrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan

Authors Information

Gelmanova Z.S., Phd (Economic), Professor of the Department of Construction, Economics and Business, e-mail: zoyakgiu@mail.ru

Gorshkova L.V., Phd (Engineering), Professor of the Department "PGTS"

Rudnik L.D., Senior Lecturer, Department of Construction

Mezentseva, A.V., Senior Lecturer of the Department of Construction

Abstract

The article identifies factors affecting the efficiency of insulating structures in mines. To prevent shrinkage of the pulp, it is proposed to add quicklime to its traditional composition, consisting of clay, sand and water. It was found that the presence of about 5-7% quicklime in the pulp prevents its shrinkage, and the presence of 20-25% quicklime in the pulp allows the pulp to swell by about 20% by volume. Experimental studies have been carried out to identify the aerodynamic resistance of porous layers of materials. The air permeability of the pulp and the effect of quicklime on the expansion of the pulp mixture, the air permeability of various compositions of the silting pulp, including the compositions used for the construction of filter bridges, have been determined. It has been established that the least air permeability is possessed by the pulp, which has quicklime in its composition.

Keywords

Insulating structure, Air permeability, Double dam, Pulp composition, Tightness, Endogenous fire.

References

1. Balovtsev S.V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2019, (6), pp. 173-183. (In Russ).
2. Trinh L.H. & Nguyen V.N. Mapping coal fires using Normalized Difference Coal Fire Index (NDCF): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam. *Mining Science and Technology (Russia)*, 2021, (6), pp. 233-240. Available at: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-233-240> (accessed 15.03.2022).
3. Filin A.E., Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A. & Merkulova A.M. Prospects of safety control in combination of mining and metallurgy industries. *Eurasian Mining*, 2018, (1), pp. 31-34.
4. Nguyen Q.L., Nguyen Q.M., Tran D.T. & Bui X.N. Prediction of ground subsidence due to underground mining through time using multilayer feed-forward artificial neural networks and back-propagation algorithm – case study at Mong Duong underground coal mine (Vietnam). *Mining Science and Technology (Russia)*, 2021, (6), pp. 241-251. Available at: <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-241-251> (accessed 15.03.2022).
5. Hasanova N.Yu., Salyamova K.D. & Melikulov A.D. Analysis of the variability of the deformation properties of the rock mass and the possibility of managing them in various geotechnological processes. *Voprosy nauki i obrazovaniya*. 2018, (10), pp. 35-39. (In Russ).

6. Ganova S.D., Skopintseva O.V. & Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2019, Vol. 330, (6), pp. 109-115. (In Russ).

7. Coal Degas Group, Murray American Energy Inc., Morgantown, West Virginia, USA Available online 11 July 2014. Chapter 8 – Coal Seam Degasification, pp. 155-175. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800880-5.00008-5> (accessed 15.03.2022).

8. Rilnikova M.V., Olizarenko V.V. & Mikhalechuk A.P. Formation and construction of bulkheads in openings of underground mines under the career filled with tailings. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2014, (S1-1), pp. 124-137. (In Russ).

9. Kulikova A.A. & Kovaleva A.M. Use of tailings of enrichment for laying of the developed space of mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2021, (2-1), pp. 144-154. (In Russ).

10. Reshetnyak S.N. & Maksimenko Yu.M. Analysis of the materials of hardening of damaged areas of the coal-bearing massif in the course of excavation work. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2018, (11), pp. 39-45. (In Russ).

11. Hashemi S.S., Melkounian N. & Taheri A. A borehole stability study by newly designed laboratory tests on thick-walled hollow cylinders. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2015, (7), pp. 519-531.

12. Ovchinnikov V.V. Thermochemistry of Heteroatomic Compounds: Calculation of the heat of Combustion and the heat of Formation of some Bioorganic Molecules with Different Hydrophenanthrene Rows. *Open Journal of Physical Chemistry*, 2011, (1), pp. 1-5.

13. Kordos J. Tests of new method of monitoring endogenous fire hazard in hard coal mines. *Journal of Sustainable Mining*, 2019, (18), pp. 134-141.

For citation

Gelmanova Z.S., Gorshkova L.V., Rudnik L.D. & Mezentseva A.V. Efficiency of using expanding silting pulp for isolating fires in mines of the Republic of Kazakhstan. *Ugol'*, 2022, (4), pp. 53-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-53-57.

Paper info

Received January 13, 2022

Reviewed February 1, 2022

Accepted March 22, 2022