

УДК 622.23.05 © В.В. Зотов✉, К.С. Коликов, И.П. Гусева,  
А.А. Пецык, О.В. Белянкина, 2024

НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия  
✉ e-mail: zotov@misis.ru

UDC 622.23.05 © V.V. Zotov✉, K.S. Kolikov, I.P. Guseva,  
A.A. Petsyk, O.V. Belyankina, 2024

National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS),  
Moscow, 119049, Russian Federation  
✉ e-mail: zotov@misis.ru

# К вопросу о предельной скорости подачи очистного комбайна с учетом параметров газовыделения угольного пласта

## Regarding the maximum feed rate of the shearer with account of the coal seam gas emission characteristics

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-6-96-100>

### ЗОТОВ В.В.

Канд. техн. наук,  
заведующий кафедрой  
Горного оборудования, транспорта  
и машиностроения НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: zotov@misis.ru

### КОЛИКОВ К.С.

Доктор техн. наук,  
заведующий кафедрой  
Безопасности и экологии горного  
производства НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: kolikov.ks@misis.ru

### ГУСЕВА И.П.

Аспирант кафедры Безопасности и  
экологии горного производства  
НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: guseva@irina96.ru

### ПЕЦЫК А.А.

Аспирант кафедры  
Горного оборудования, транспорта  
и машиностроения НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: petsyk.aa@misis.ru

В статье приводятся результаты оценки влияния различных факторов на выделение метана в горных выработках при помощи предложенной математической модели. Математическая модель позволяет рассчитать приток метана в горные выработки из всех источников. На основании полученных результатов моделирования можно получать предельную скорость подачи очистного комбайна при работе с различными типами углей, характеризующимися различной газоносностью и параметрами сорбции Ленгмюра. По итогам серии экспериментов были получены зависимости скорости подачи очистного комбайна от таких параметров, как ширина заходки (ширина шнека) и мощность пласта при разных характеристиках углей. На основании этих зависимостей могут быть подготовлены рекомендации по выбору скорости подачи комбайна с учетом широкого диапазона параметров, влияющих на метановыделение.

**Ключевые слова:** очистной комбайн, угольная шахта, скорость подачи, метан, газоразделение, безопасность горных работ.

**Для цитирования:** К вопросу о предельной скорости подачи очистного комбайна с учетом параметров газоразделения угольного пласта / В.В. Зотов, К.С. Коликов, И.П. Гусева и др. // Уголь. 2024;(6):96-100. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-96-100.

### Abstract

The article presents the results of assessing the impact of various factors on methane release in mine workings using the proposed mathematical model. The mathematical model allows calculation of methane inflow into the mine workings from all the sources. Based on the obtained simulation results it is possible to obtain the limiting feed rate of the shearer when working with different types of coals characterized by different gas content and the Langmuir sorption parameters. According to the results of a series of experiments, the dependences of the shearer's feed rate on such parameters as the width of the pass (the auger width) and the thickness of the seam were obtained for the different coal properties. These dependences can be

*used as a foundation for recommendations on the selection of the shearer's feed rate with account of a wide range of parameters affecting the methane emissions.*

#### **Keywords**

*Shearer, coal mine, feed rate, methane, gas emission, mining safety.*

#### **For citation**

Zotov V.V., Kolikov K.S., Guseva I.P., Petsyk A.A., Belyankina O.V. Regarding the maximum feed rate of the shearer with account of the coal seam gas emission characteristics. *Ugol'*. 2024;(6):96-100. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-6-96-100.

#### **БЕЛЯНКИНА О.В.**

*Канд. техн. наук, доцент кафедры  
Горного оборудования, транспорта  
и машиностроения НИТУ МИСИС,  
119049, г. Москва, Россия,  
e-mail: belyankina.ov@misis.ru*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Важным аспектом развития горнодобывающих предприятий являются внедрение экологически чистых технологий и соблюдение стандартов охраны окружающей среды, что способствует устойчивому развитию отрасли [1, 2]. По мере развития технологий разработки угольных месторождений подземным способом для обеспечения безопасности ведения горных работ необходимо контролировать выделение метана из горного массива. На угольных шахтах внедряются технологии дегазации угольных пластов и утилизации метана. Эти меры не только способствуют безопасности ведения горных работ и защите окружающей среды, но также нацелены на эффективное использование ресурсов [3, 4] и снижение выбросов парниковых газов.

Интенсификация добычи угля подземным способом за счет внедрения высокопроизводительных очистных комплексов приводит к необходимости совершенствования существующих и разработки новых методов дегазации [5, 6]. Дегазация шахт предотвращает полностью или частично возникновение газодинамических явлений в виде внезапных выбросов угля и газа, суфляров и пр., уменьшает поступление метана из угольных пластов и пород в горные выработки, значительно снижает простои выемочных участков; повышает производительность труда и безопасность ведения горных работ в газовых шахтах.

Исследования [5, 6] сформировали представление о влиянии на газовыделение большого количества факторов, таких как длина выработок, скорость разрушения горного массива, характеристики углепородного массива. Повышение скорости подачи очистного комбайна, а значит, и скорости разрушения горного массива приводит к увеличению метановыделения в лаве. В связи с этим для повышения безопасности ведения горных работ является необходимым обоснование предельной скорости подачи очистного комбайна на основании учета притока метана в подземные горные выработки. В комплексе с проведением дегазационных мероприятий это обеспечит высокий уровень безопасности на угольных шахтах.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Повышение эффективности технологии добычи полезных ископаемых [7] предопределяется совершенствованием горных машин [8, 9] и выявлением рациональных областей их применения [10, 11]. Рост производительности труда на горном предприятии обеспечивается внедрением высокопроизводительных поточных транспортных систем [12, 13] с обоснованными для условий эксплуатации их конструктивными и режимными параметрами [14, 15, 16]. Важной задачей при разработке и внедрении новой техники в рамках технологического суверенитета является повышение ее ресурса [17, 18].

Для оценки объемов выделения метана в очистном забое угольной шахты была использована ранее разработанная математическая модель [19], учитывающая: исходные производственные данные работы очистного забоя на выбранной угольной шахте; физические свойства угольного пласта; основные законы массопереноса метана. На основании модели можно спрогнозировать предельно допустимые нагрузки на очистной забой по газовому фактору [5, 20, 21].

Оценка притока метана была выполнена для следующих условий:

- газоносность пласта ( $12 \text{ м}^3/\text{т}$ , здесь и далее в скобках приводятся данные, принятые для расчета);
- длина очистного забоя (230 м);
- мощность пласта ( $1,8 \div 2,6 \text{ м}$ );
- ширина заходки ( $0,4 \div 0,8 \text{ м}$ );

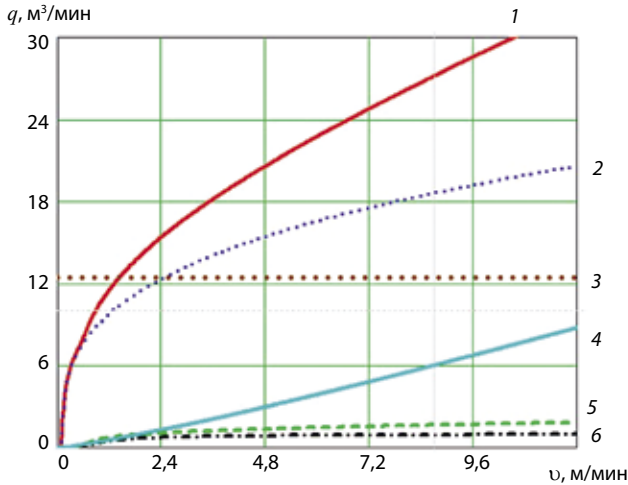


Рис. 1. Приток метана в исходящую струю в зависимости от скорости подачи комбайна: 1 – притоки метана; 2 – приток из угольного забоя; 3 – предельно допустимый приток метана по требованиям безопасности; 4 – приток из отбитого угля; 5 – приток из кровли и почвы; 6 – приток из под крепи

Fig. 1. Methane inflow into the upcast depending on the travelling speed of the shearer: 1 – all methane inflows; 2 – inflow from the coal face; 3 – maximum allowable methane inflow according to the safety requirements; 4 – inflow from the broken coal; 5 – inflow from the roof and the soil; 6 – inflow from under the rock support

– параметры сорбции Ленгмюра: константа давления Ленгмюра ( $0,53 \times 10^{-6} \text{ Па}^{-1}$ ) и максимальная сорбционная метаноёмкость ( $30,09 \text{ м}^3/\text{т}$ ). Расчет проводился для разработки длинными столбами с учетом режима работы комбайна в лаве.

В результате моделирования в математической среде Mathcad 14.0 с учетом технологических параметров очистного забоя и технических параметров оборудования были получены зависимости (рис. 1), которые отражают приток метана из всех источников (кривые 1, 2, 4, 5, 6). Горизонтальная линия 3 показывает допустимый приток метана в соответствии с нормами ПБ. Предельная скорость подачи комбайна зависит от таких факторов, как тип угля, свойства пласта, режим работы комбайна и пр. В рассматриваемом случае максимальная скорость подачи комбайна в очистном забое определяется по абсциссе пересечения линий 1 и 3 и не может быть выше  $1,43 \text{ м/мин}$  с учетом общего метановыделения. Определено, что при заданном режиме работы оборудования максимально допустимая нагрузка на очистной забой составит  $2680 \text{ т/сут}$ .

Таким образом, выполненный расчет позволил определить предельную скорость подачи комбайна и максимально допустимую нагрузку на очистной забой при заданных условиях работы шахты. Эта информация будет полезна для выбора рациональных режимных параметров работы очистных комбайнов и управления нагрузками в шахте с целью повышения эффективности добычи и обеспечения безопасности работников.

Построение графиков зависимостей предельной скорости подачи комбайна от ширины заходки комбайна (рис. 2, а) и мощности пласта (рис. 2, б), позволяет определить рациональные параметры рабочего режима комбайна для работы в различных условиях. Графики соответствуют угольным пластам коэффициентами Ленгмюра: 1 – газовый Moffan&Weale; 2 – газовый и газовый жирный (шахта Кирова, пласт Болдыревский); 3 – коксовый и коксовый жирный (шахта «Казахстанская», пласт D6).

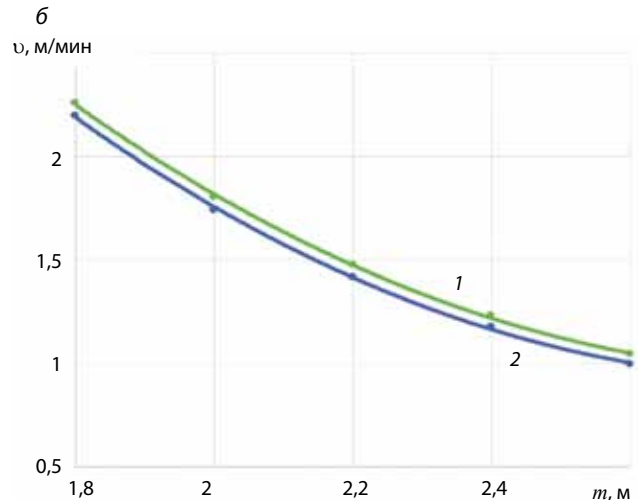
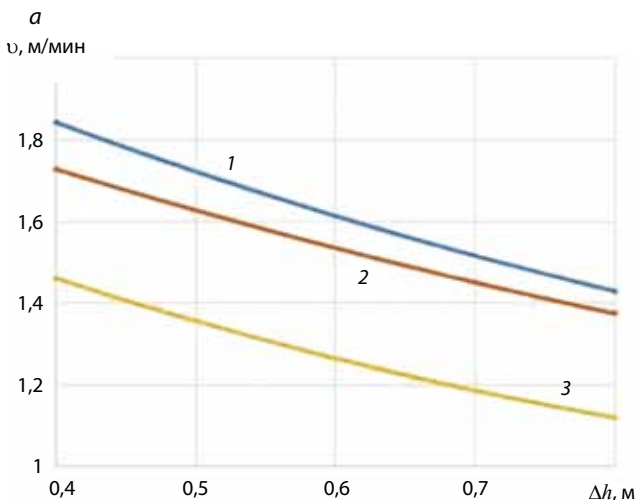


Рис. 2 – Зависимости предельной по газовыделению скорости подачи очистного комбайна от ширины заходки комбайна (а) и от мощности пласта (б) для различных угольных пластов в соответствии с коэффициентом Ленгмюра

Fig. 2 – Dependences of the maximum speed of the shearer with respect to gas emission on the width of the shearer pass (a) and on the thickness of the seam (б) for different coal seams in accordance with the Langmuir coefficient.

Из графика (рис. 2, а) следует, что с увеличением ширины заходки предельная скорость подачи комбайна снижается. То же самое наблюдается при увеличении мощности пласта (рис. 2, б). Это связано с увеличением объема разрушаемого горного массива, а значит, с ростом метановыделения при прочих равных условиях.

Из полученных в работе графиков установлено, что для различных типов углей должна быть определена своя предельная скорость подачи очистного комбайна, обусловленная объемом выделения метана на добычном участке. От этого фактора зависят максимальная производительность и эффективность процесса добычи угля. Исследования, выполненные при помощи разработанной математической модели [21], показали, что скорость подачи очистного комбайна может отличаться для разных типов угля при варьировании мощности пласта и при различных технических характеристиках комбайнов.

Решение подобной задачи по оценке предельной скорости подачи очистного комбайна может применяться при планировании очистных работ с учетом обеспечения безопасности их ведения в условиях интенсивного выделения метана в горных выработках. Эти результаты могут стать основой для постановки задач по дегазации и по проветриванию горных выработок с целью снижения риска аварии в результате интенсивного выделения метана на очистном участке.

## ВЫВОДЫ

В статье определены факторы, влияющие на интенсивность выделения метана в подземных горных выработках угольных шахт. С учетом этих факторов и применением методов математического моделирования при помощи численных методов получены графики предельной скорости подачи очистных комбайнов для различных типов углей с учетом их сорбционно-кинетических параметров. На основании полученных зависимостей могут быть подготовлены рекомендации по выбору скорости подачи комбайна с учетом широкого диапазона параметров, влияющих на метановыделение.

## Список литературы • References

1. Ресурсосберегающие технологии освоения месторождений полезных ископаемых / Я. Рыбак, М.М. Хайрутдинов, Ч.Б. Конгар-Сюрюн и др. // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т.13. № 3. С. 405-415. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415.  
Rybak Ya., Khayrutdinov M.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Tyulyayeva Yu.S. Resource-saving technologies for development of mineral deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021;13(3):406-415. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-3-406-415>.
2. Kongar-Syuryun Ch., Ivannikov A., Khayrutdinov A., Tyulyayeva Yu. Geotechnology using composite materials from man-made waste is a paradigm of sustainable development. *Materials Today: Proceedings*. 2021;(38): 2078-2082. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.145>.
3. Golik V.I., Mitsik M.F., Aleksakhina Y.V., Alenina E.E., Ruban-Lazareva N.V., Kruzhkova G.V., Kondratyeva O.A., Trushina E.V., Skryabin O.O., Khayrutdinov M.M. Comprehensive Recovery of Metals in Tailings Utilization with Mechanochemical Activation. *Resources*. 2023;12(10):113. <https://doi.org/10.3390/resources12100113>.
4. Shaforostova E.N., Kosareva-Volod'ko O.V., Belyankina O.V., Solovykh D.Y., Sazankova E.S., Sizova E.I., Adigamov D.A. A Tailing Dump as Industrial Deposit; Study of the Mineralogical Composition of Tailing Dump of the Southern Urals and the Possibility of Tailings Re-Development. *Resources*. 2023;12(2):28. DOI: 10.3390/resources12020028.
5. Обеспечение безопасной и интенсивной разработки газоносных угольных пластов на основе их комплексной дегазационной подготовки / С.В. Сластунов, К.С. Коликов, А.П. Садов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 2. С. 152-166. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-152.  
Slastunov S.V., Kolikov K.S., Sadov A.P., Khautiev A.M.-B., Komissarov I.A. Safe and high-rate mining of gas-bearing coal with integrated preparative degassing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(2):152-166. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-2-0-152.
6. Блохин Д.И., Закоршменный И.М., Кубрин С.С., Кобылкин А.С., Поздеев Е.Э., Пушилилин А.Н. Численные исследования влияния изменений напряженно-деформированного состояния углеродного массива на устойчивость дегазационных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11. С. 17-32. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-17.  
Blokhin D.I., Zakorshmenniy I.M., Kubrin S.S., Kobylkin A.S., Pozdееv E.E., Pushilin A.N. Numerical research of effect of stress-strain changes on stability of gas drainage wells in coal-rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11):17-32. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-17.
7. Формализация процесса выбора технологий отработки месторождений полезных ископаемых / П.А. Каунг, В.В. Зотов, М.А. Гаджиев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 2. С. 124-138. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-2-0-124.  
Kaung P.A., Zotov V.V., Gadzhiev M.A., Artemov S.I., Gireev I.A. Formalization of selection procedure of mineral mining technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(2):124-138. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-2-0-124.
8. Gubanov S., Petsyk S., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils. *E3S Web of Conferences*. 2020;(177):03008(1-5). DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.
9. Алгоритм определения максимальной мощности привода подачи карьерного бурового станка / Д.А. Кузиев, И.Ю. Пятова, И.Н. Клементьева и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 1. С. 128-133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.  
Kuziev D.A., Pyatova I.Yu., Klement'eva I.N., Pikhtorinsky D. Algorithm for the determination of maximum feed drive power of drilling rigs in open pit mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(1):128-133. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133.
10. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Выемочно-погрузочный драглайн с ковшем инновационной конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 7. С. 149-157. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-149-157.  
Klementyeva I.N., Kuziev D.A. Extracting-and-loading dragline with innovative design bucket. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*

- 2019;(7):149-157. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-149-157.
11. Соловьев С.В., Кузиев Д.А. Исследование жесткостных параметров привода тягового механизма драглайна ЭШ-10/70 // Уголь. 2017. № 1. С. 37-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-1-37-38. Soloviev S.V., Kuziev D.A. Dragline ESh-10/70 linkage stiffness parameters study. *Ugol'*. 2017;(1):37-38. (In Russ). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-1-37-38.
  12. Galkin V.I., Sheshko E.E., Dyachenko V.P., Sazankova E.S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry. *Eurasian Mining*. 2021;36(2):64-68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
  13. Adigamov A., Zotov V., Kovalev R., Kopylov A. Calculation of transportation of the stowing composite based on the waste of water-soluble ores. *Transportation Research Procedia*, St. Petersburg, 02-04 June 2021. St. Petersburg, 2021. P. 17-23. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.020.
  14. Галкин В.И., Доблер М.О., Дьяченко В.П. Обоснование конструктивных параметров линейной вантовой секции подвесного канатного конвейера типа горесоп® // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11. С. 115-127. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-115. Galkin V.I., Dobler M.O., Dyachenko V.P. Substantiation of design parameters of a linear cable-stayed section of a ropecon® type suspended rope conveyor. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11):115-127. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-11-0-115.
  15. Malakhov V.A., Tropako A.V., Dyachenko V.P. Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines. *Eurasian Mining*. 2021;(2):64-68. DOI: 10.17580/em.2022.01.14.
  16. Дмитриева В.В., Собянин А.А., Сизин П.Е. Моделирование плавного пуска для асинхронного двигателя ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022;(6):77-92. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-0-77. Dmitrieva V.V., Sobyenin A.A., Sizin P.E. Modeling soft start of belt conveyor induction motor. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):77-92. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-6-0-77.
  17. Mnatsakanyan V.U., Surina N.V., Belyankina O.V., Sizova E.I. Assembly accuracy of power cylinders for powered roof supports in longwalls. *Eurasian Mining*. 2023;(1):50-54. DOI: 10.17580/em.2023.01.11.
  18. Sevagin S.V., Mnatsakanyan V.U. Ensuring the required manufacturing quality of hydraulic-cylinder rods in mining machines. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 709 044095. DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044095.
  19. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору / С.В. Сластунов, Г.Г. Каркашадзе, К.С. Коликов и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. № 6. С. 53-59. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Kolikov K.S., Ermak G.P. Calculation procedure for permissible coal breakage face output by gas factor. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013;49(6):888-893. (In Russ).
  20. Прогноз дебита метана при извлечении из угольных пластов / С.В. Сластунов, К.С. Коликов, Е.В. Мазаник и др. // Наука и техника в газовой промышленности. 2020. № 2(82). С. 77-88. S.V. Slastunov, K.S. Kolikov, E.V. Mazanik, I.A. Komissarov. Forecast of methane flow rate during extraction from coal seams. *Science and Technology in the gas industry*. 2020;2(82):77-88. (In Russ).
  21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617827 Российская Федерация. Программа расчета предельно допустимой нагрузки на очистной забой угольной шахты по газовому фактору: № 2015614769: заявл. 04.06.2015: опубл. 23.07.2015 / Г.Г. Каркашадзе, С.В. Сластунов, К.С. Коликов; заявитель ФГАОУ ВПО «НИТУ «МИСиС».

#### Authors Information

**Zotov V.V.** – PhD (Engineering), Head of the Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: zotov@misis.ru

**Kolikov K.S.** – Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Mine Safety and Environment, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: kolikov.ks@misis.ru

**Guseva I.P.** – Graduate student, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation,

**Petsyk A.A.** – Graduate student, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: petsyk.aa@misis.ru

**Belyankina O.V.** – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Mining Equipment, Transportation and Mechanical Engineering, National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: belyankina.ov@misis.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 6.05.2024

Поступила после рецензирования: 16.05.2024

Принята к публикации: 26.05.2024

#### Paper info

Received May 6, 2024

Reviewed May 16, 2024

Accepted May 26, 2024