Оригинальная статья

УДК 622.271.3 © О.И. Литвин[1], Я.О. Литвин[2], А.А. Хорешок[1], Д.М. Дубинкин✉[1], С.О. Марков[1], 2025

[1] ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
[2] Моховский угольный разрез, 652661, д. Мохово, Кемеровская область, Россия
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Original Paper

UDC 622.271.3 © O.I. Litvin1, Ya.O. Litvin[2], A.A. Khoreshok[1], D.M. Dubinkin✉[1], S.O. Markov[1], 2025

[1] T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation
[2] Mokhovsky Coal Mine, 652661, Mokhovo Village, Kemerovo Region, Russian Federation
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Исследование неравномерности работы экскаваторно-автомобильного комплекса*

Study of the uneven operation of the excavator-truck complex

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-116-120

ЛИТВИН О.И.
Канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры ОГР, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия

ЛИТВИН Я.О.
Канд. техн. наук, директор, Моховский угольный разрез, 652661, д. Мохово, Кемеровская область, Россия

ХОРЕШОК А.А.
Доктор техн. наук, профессор, научный руководитель Горного института, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия

ДУБИНКИН Д.М.
Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ГМиК, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

МАРКОВ С.О.
Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ОГР, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: markovso@kuzstu.ru

Установление фактического или эксплуатационного количества карьерных самосвалов, необходимых для работы с одной единицей выемочно-погрузочного оборудования, обычно определяется путем округления расчетного значения в зависимости от наличия автосамосвалов или существующего опыта эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов путем введения в состав транспортного звена автосамосвала меньшей грузоподъемности. В данной работе представлен возможный вариант комплектования транспортного звена увеличенным количеством самосвалов для снижения простоев основной выемочной машины.

Ключевые слова: *производительность экскаватора, производительность карьерного самосвала, гидравлический экскаватор, экскаваторно-автомобильный комплекс, открытые горные работы*

Для цитирования: Исследование неравномерности работы экскаваторно-автомобильного комплекса / О.И. Литвин, Я.О. Литвин, А.А. Хорешок и др. // Уголь. 2025;(12):116-120. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-116-120.

** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 мая 2022 г. № 1144-р в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.*

Abstract

The actual or operational number of quarry dump trucks required to work with a single unit of excavation and loading equipment is usually determined by rounding the calculated value depending on the availability of dump trucks or existing experience in operating excavator-truck complexes by adding a dump truck with a lower load capacity to the transport chain. This paper presents a possible option for equipping the transport chain with an increased number of dump trucks to reduce the downtime of the main excavator.

Keywords

Excavator productivity, dump truck productivity, hydraulic excavator, excavator and truck complex, open-pit mining.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle: "Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life" (the "Clean Coal – Green Kuzbass" Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation as of May 11, 2022, as part of implementing the project "Development and creation of an unmanned shuttle-type mine truck with a payload of 220 tonnes" in terms of research, development and experimental-design work.

For citation

Litvin O.I., Litvin Ya.O., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O. Study of the uneven operation of the excavator-truck complex. *Ugol'*. 2025;(12):116-120. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-116-120.

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

При ведении открытых горных работ одной из основных задач является минимизация простоев как выемочно-погрузочного, так и транспортного оборудования. Анализ работ по данной проблематике показывает, что отечественными и зарубежными учеными внимание в основном уделяется снижению времени простоев экскаватора как основной производственной единицы на открытых горных работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], причем значительная часть работ посвящена анализу структуры экскаваторного цикла и оптимизации его составляющих, однако, на наш взгляд, к предложенным вариантам решения можно добавить изыскание резервов времени за счет более равномерной подачи транспортных средств под погрузку, которое можно решить практическим путем.

Простои оборудования обусловлены технологией совместной работы (технологически предусмотренные простои) и совокупностью случайных факторов, связанных с неравномерностью работы экскаватора и неравномерностью движения автосамосвала (непредусмотренные простои) [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Для экскаватора технологически предусмотренными простоями является время ожидания подъезда экскаватора под погрузку, а для автосамосвала – время погрузки. Непредусмотренные простои экскаватора включают в себя совокупные опоздания прибытия автосамосвала в забой по сравнению с расчетным временем. Простои автосамосвалов в связи с более ранним их прибытием в забой по сравнению с расчетным временем нельзя считать непредусмотренными простоями, поскольку они не влияют ни на объемы отгруженной горной массы, ни на эксплуатационные затраты.

МЕТОДЫ

Для использования рассмотренной структуры простоев оборудования необходимо исследовать потери времени экскаватора и автосамосвала, связанные со стохастической неравномерностью их работы *(см. таблицу)*. С этой целью были выполнены хронометражные наблюдения за продолжительностью внезабойного времени рейса автосамосвала ($t_{вз}$), продолжительностью вспомогательных операций при зачистке забоя перед погрузкой автосамосвала ($t_{всп}$), а также времени маневра автосамосвала в забое перед погрузкой ($t_{м.з}$).

На *рис. 1, а, б* показаны характерные плотности распределения продолжительности внезабойного времени рейса автосамосвалов грузоподъемностью 55 и 220 т при различных расстояниях транспортирования горной массы. Всего было обработано от 21 до 45 наблюдений для расстояний транспортирования от 0,8 до 6,0 км. Основ-

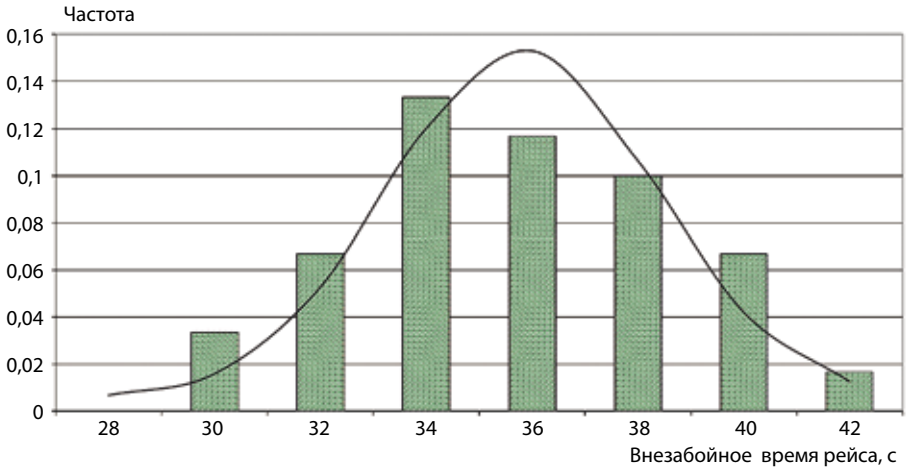

Рис. 1. Распределение продолжительности внезабойного времени рейса автосамосвала: а – БелАЗ-75306, $t_{вз}$ = 22,75; σ = 1,53; $L_{тр}$ = 3,1 км; б – БелАЗ-7555, $t_{вз}$ = 35,80; σ = 2,51; $L_{тр}$ = 5,7 км

Fig. 1. Distribution of the duration of the off-shore time of the dump truck flight: а – BelAZ-75306, $t_{вз}$ = 22,75; σ = 1,53; $L_{тр}$ = 3,1 km; б – БелАЗ-7555, $t_{вз}$ = 35,80; σ = 2,51; $L_{тр}$ = 5,7 km

Структура затрат времени при различной комплектации транспортного звена экскаваторно-автомобильного комплекса

The structure of time spent with different configurations of the transport link of the excavator-automobile complex

Составляющие затрат времени	Вариант I: расчетное количество автосамосвалов ($N_а$)	Вариант II: увеличенное количество автосамосвалов ($N_а$ +1)
Экскаватор		
Вспомогательные операции перед подъездом а/с, мин	$t_{всп} = 0,7 \cdot t_ц$	
Наиболее вероятное время ожидания прибытия а/с в забой, мин	$\tau_э = (0,034 \div 0,041) \cdot t_{вз}$	–
Ожидание подъезда а/с, мин	$t_{ож} = 0,5$	
Погрузка а/с, мин	$t_п = t_ц \cdot n_к$	
Автосамосвалы		
Время движения вне забоя, включая разгрузку, мин	$t_{вз}$	
Ожидание погрузки впереди идущего а/с, мин	–	$t_п = t_ц \cdot n_к$
Ожидание выполнения экскаватором вспомогательных операций, мин	$t_{всп} = 0,7 \cdot t_ц$	
Маневры в забое, мин	$t_{м.з} = 0,5$	
Погрузка а/с, мин	$t_п = t_ц \cdot n_к$	

ной результат заключается в том, что опоздание автосамосвала с прибытием в забой по сравнению с расчетным временем (это опоздание определяет потери времени экскаватора в ожидании автосамосвала $\tau_э$) пропорционально продолжительности внезабойного времени рейса и составляет:

$$\tau_э = 0,5 \cdot \sigma = (0,034 \div 0,041) \cdot t_{вз}, \quad (1)$$

где $t_{вз}$ – среднее значение внезабойного времени рейса автосамосвала, мин.

Продолжительность времени маневра в забое практически не зависит от грузоподъемности автосамосвала и составляет около 0,5 мин *(рис. 2)*. Разброс обусловлен различной удаленностью места установки в забое от места ожидания.

Вспомогательные операции экскаватора перед установкой автосамосвала под погрузку производятся в том случае, когда есть необходимость зачистить подъезд к забою от осыпавшихся отдельных кусков породы или отодвинуть негабаритные куски. Распределение продолжительности вспомогательных операций имеет вид, показанный на *рис. 3*. В дальнейших вычислениях было принято $t_{всп} = 0,7 \cdot t_ц$.

В общем случае элементы затрат времени оборудования (экскаватора или отдельно взятого автосамосвала) можно разделить на группы по двум признакам:

а) увеличивается или не увеличивается объем выполненной за это время работы тем или иным видом оборудования;

б) предусмотрено или не предусмотрено это время технологией функционирования комплекса.

Для экскаватора объем работ определяется отгруженными кубическими метрами горной массы, поэтому производительными затратами времени будет только время, связанное с погрузкой автосамосвалов. Вспомогательные операции перед подъездом автосамосвала к забою и ожидание подъезда являются технологически необходимыми непроизводительными промежутками времени, в течение которых отгрузка из забоя не увеличивается. Ожидание прибытия автосамосвала в забой, связанное с возможным

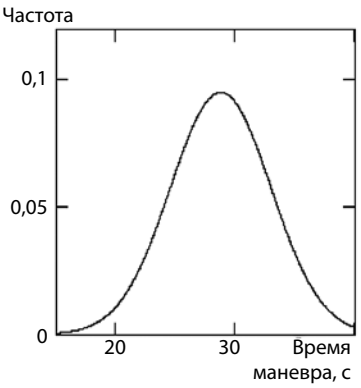

Рис. 2. Распределение продолжительности маневра автосамосвала при установке под погрузку ($t_{м.з}$ = 28,7 с)

Fig. 2. Distribution of the maneuver duration of the dump truck when installed for loading ($t_{м.з}$ = 28,7 s)

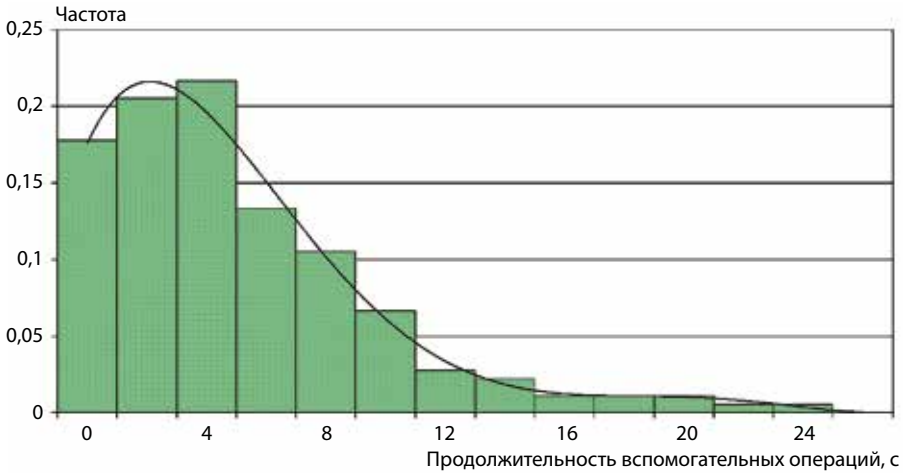

Рис. 3. Распределение продолжительности вспомогательных операций экскаватора ($t_{всп}$ = 12,1 с)

Fig. 3. Distribution of the duration of auxiliary excavator operations ($t_{всп}$ = 12,1 s)

его опозданием по отношению к расчетному времени, относится к непроизводительному, необязательному в структуре технологии промежутку, который теоретически можно исключить.

Для автосамосвала производительными будут внезабойное время рейса и время маневра в забое, в течение которых увеличиваются выполняемые тонно-километры. Все остальные затраты времени являются непроизводительными, но технологически необходимыми. Случайные простои, связанные с аварийной остановкой оборудования, из рассмотрения исключены.

Идея сравнительной оценки комплектации транспортного звена по двум количественно отличающимся вариантам заключается в том, что увеличенное количество автосамосвалов позволяет сократить или исключить вовсе технологически необязательные и непроизводительные затраты времени экскаватора за счет непроизводительных, но технологически предусмотренных затрат времени автосамосвалов. Предпосылкой к целесообразности такого сравнения является различная стоимость эксплуатации экскаватора и автосамосвала за один и тот же промежуток времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования эффективности различных вариантов экскаваторно-автомобильных комплексов на примере обратных гидравлических лопат RH-200 Terex с геометрической вместимостью ковша 21 куб. м, автосамосвалов грузоподъемностью 55-220 т, а также прямой механической лопаты P&H-4100 в комплекте с автосамосвалами, показывают, что производительность комплекса при дополнительной единице транспорта при любых практически встречающихся значениях внезабойного времени рейса выше базового варианта комплектования транспортом. Этот результат является естественным и объясняется сокращением времени непредусмотренных стохастических простоев экскаватора в ожидании прибытия автосамосвала в забой путем увеличения предусмотренных простоев транспорта.

Из полученного результата следует, что целесообразность увеличения транспортного звена на одну единицу с целью одновременного увеличения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса и снижения затрат на разработку определяется соотношением расчетного количества автосамосвалов, внезабойного времени рейса и времени погрузки одного автосамосвала, которое является инвариантом для всех возможных сочетаний типоразмеров экскаваторов и автосамосвалов.

При средних расстояниях транспортирования вскрышных пород, предопределяющих продолжительность внезабойного времени рейса 20-30 мин, увеличение производительности экскаваторно-автомобильного комплекса достигает 20%.

Практическая значимость полученного результата заключается в том, что он дает возможность сформулировать довольно простую методику расчета эксплуатационного количества автосамосвалов для обеспечения (при заданном соотношении типоразмеров экскаватора и автосамосвалов) максимально высокой производительности комплекса и минимально возможных затрат на взрывную подготовку, экскавацию и транспортирование горной массы:

1. Определение расчетного количества автосамосвалов $N_{а(расч)}$ экскаваторно-автомобильного комплекса с использованием продолжительности всех операций оборудования (перечисленных в *таблице*), включая наиболее вероятное время ожидания прибытия автосамосвала в забой.

2. Определение переходного количества автосамосвалов N^* исходя из фактических значений продолжительности внезабойного времени рейса и времени погрузки одного автосамосвала:

$$N^* = \frac{t_{вз}}{t_{погр}}. \quad (2)$$

3. Определение эксплуатационного количества автосамосвалов:

$$N_{а.экспл} = \begin{cases} N_{а.расч}, \text{ если } N^* > N_{а.расч} \\ N_{а.расч} + 1, \text{ если } N^* < N_{а.расч} \end{cases}. \quad (3)$$

4. Кратная часть эксплуатационного количества $N_{а.экспл}$ округляется или рассматривается как автосамосвал меньшей грузоподъемности по сравнению с грузоподъемностью основного состава транспортного звена.

ВЫВОДЫ

1. При детерминированном графике текущей работы экскаваторно-автомобильного комплекса общая продолжительность простоев оборудования не зависит от расстояния транспортирования.

2. Увеличенное количество автосамосвалов позволяет сократить или исключить вовсе технологически необязательные и непроизводительные затраты времени экскаватора за счет непроизводительных, но технологически предусмотренных затрат времени автосамосвалов.

3. Целесообразность увеличения транспортного звена на одну единицу с целью одновременного увеличения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса и снижения затрат на разработку определяется соотношением расчетного количества автосамосвалов, внезабойного времени рейса и времени погрузки одного автосамосвала, которое является инвариантом для всех возможных сочетаний типоразмеров экскаваторов и автосамосвалов.

4. Количественный состав транспортного звена экскаваторно-автомобильных комплексов на базе карьерных экскаваторов с вместимостью ковша 20 куб. м^3 и более необходимо формировать по принципу «один автосамосвал в очереди», что обеспечит снижение затрат на выемочно-погрузочные работы при одновременном увеличении производительности комплекса.

Список литературы • References

1. Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные самосвалы / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, Я.О. Литвин и др. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2024. № 4. С. 26-34. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34.

Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Litvin Ya.O. On changes in the performance of reverse hydraulic shovels under different schemes of loading overburden into quarry dump trucks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mining Journal.* 2024;(4):26-34. (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34.

2. Loginov E.V., Kara S.V., Masalskiy S.S., Petrov K.D. Justification of parameters of open pit mining using truck-and-shovel systems in the Extreme North. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(6):17-30. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_6_0_17.
3. Исследование влияния изменения высоты уступа на текущий коэффициент вскрыши при использовании автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 т / Д.М. Дубинкин, А.А. Хорешок, Ш.Я. Исмаилова и др. // Техника и технология горного дела. 2023. № 3(22). С. 71-81. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81.
   Dubinkin D.M., Khoreshok A.A., Ismailova Sh.Ya., Markov S.O. Investigation of the effect of changes in the height of the ledge on the current stripping coefficient when using autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons. *Mining engineering and technology*. 2023;3(22):71-81. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81.
4. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone. E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19-21 октября 2020 года. Kemerovo, 2020. P. 01027. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401027.
5. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами / О.И. Литвин, Я.О. Литвин, М.А. Тюленев и др. // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 76-81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
   Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. On determining the parameters of downhole blocks during mining operations with reverse hydraulic shovels. *Mining Industry*. 2021;(6):76-81. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
6. Markov S., Tyulenev M., Dubinkin D., Murko E. Estimation of Excavator-Automobile Complex Productivity at Changing of Engineering and Geological Conditions. *Acta Monstanistica Slovaca*. 2024;29(3):643-653.
7. Ермолаев В.А., Селюков А.В. Сравнение горно-геологических условий горных работ карьеров // Техника и технология горного дела. 2018. № 2(2). С. 50-65. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-50-65.
   Ermolaev V.A., Selyukov A.V. Comparison of mining and geological conditions of quarry operations. *Mining engineering and technology*. 2018;2(2):50-65. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-50-65.
8. Определение области энергоэффективного положения рабочего оборудования и эффективного радиуса черпания гидравлических экскаваторов на открытых горных работах / О.И. Литвин, С.О. Марков, А.А. Хорешок и др. // Маркшейдерия и недропользование. 2022. № 4(120). С. 38-44. DOI: 10.56195/20793332_2022_4_38.
   Litvin O.I., Markov S.O., Khoreshok A.A. et al. Determination of the area of the energy-efficient position of the working equipment and the effective radius of scooping hydraulic excavators in open-pit mining. *Surveying and subsoil use*. 2022;4(120):38-44. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2022_4_38.
9. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019;3(6):4-20. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
10. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019;4(7):4-29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.
11. Tyulenev M., Markov S., Zhironkin S. et al. The Choice of Technology and Equipment for Coal Seams of Different Bedding Excavation at Kuzbass Surface Mines Based on Digging Capacity and Unit Costs / *Acta Montanistica Slovaca.* 2021;26(4):603-619. DOI: 10.46544/AMS.v26i4.02.
12. Ulewicz R., Krstić B., Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022;27(2)291-305.
13. Kozel R., Bělica J., Kempa F., Chlopecký J., Grycz O., Cehlár M. Waste management systems in the context of sustainability. *Acta Monstanistica Slovaca.* 2024;29(1):180-192. DOI: 10.46544/AMS.v29i1.16.
14. Ambriško L., Marasová D., Grendel P., Lukáč S. Application of logistics principles when designing the process of transportation of raw materials. *Acta Montansitica Slovaca.* 2015;20(2):141-147.

Authors Information

Litvin O.I. – PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Open-Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Litvin Ya.O. – PhD (Engineering), Director of the Mokhovsky Coal Mine, 652661, Mokhovo Village, Kemerovo Region, Russian Federation

Khoreshok A.A. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Director of the Mining Institute, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Dubinkin D.M. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining Machines and Complexes, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Markov S.O. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Open-Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: markovso@kuzstu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 3.10.2025
Поступила после рецензирования: 15.11.2025
Принята к публикации: 28.11.2025

Paper info

Received October 3, 2025
Reviewed November 15, 2025
Accepted November 28, 2025