Оригинальная статья *Original Paper*

УДК 622.271.3 © О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин✉,
С.О. Марков, М.А. Тюленев, 2025

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет
имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

UDC 622.271.3 © O.I. Litvin, A.A. Khoreshok, D.M. Dubinkin✉
S.O. Markov, M.A. Tyulenev, 2025

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Изучение параметров погрузки карьерных самосвалов как фактора повышения их производительности*

Study of the loading parameters of quarry dump trucks as a factor in increasing their productivity

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-12-111-115

Наиболее производительным режимом работы для обратной гидравлической лопаты является работа с нижним черпанием и нижней погрузкой в транспортные средства. Однако такой режим в силу объективных причин ведет к росту плеча откатки (дальности транспортирования) горной массы. В данной статье изучен характер изменения производительности карьерных самосвалов в зависимости от некоторых факторов, влияющих на общую величину плеча откатки. Сделаны предварительные выводы о степени снижения производительности самосвалов при различных режимах погрузки на примере совместной работы обратной гидролопаты Komatsu PC 1250 и карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 220 тонн – БелАЗ-7530. Установлены зависимости числа рейсов самосвалов от изменения режима погрузки и связанного с этим роста плеча откатки.

Ключевые слова: *производительность экскаватора, производительность карьерного самосвала, обратная гидравлическая лопата, экскаваторно-автомобильный комплекс, открытые горные рботы, безугольная зона*

Для цитирования: Изучение параметров погрузки карьерных самосвалов как фактора повышения их производительности / О.И. Литвин, А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин и др. // Уголь. 2025;(12):111-115. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-111-115.

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

* *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.*

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*

ТЮЛЕНЕВ М.А.
*Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой ОГР,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru*

Abstract
The most productive mode of operation for a hydraulic backhoe is working with bottom digging and bottom loading into transport vehicles. However, for objective reasons, this mode leads to an increase in the haulage distance (transportation range) of the rock mass. This article examines the nature of changes in the productivity of dump trucks depending on certain factors that affect the total haul distance. Preliminary conclusions have been made about the degree of reduction in the productivity of dump trucks under various loading modes using the example of the joint operation of the Komatsu PC 1250 backhoe and BelAZ-7530 220-tonne capacity mining dump trucks. The dependencies of the number of truck trips on changes in the loading mode and the associated increase in the haulage distance have been established.

Keywords
Excavator productivity, dump truck productivity, backhoe, excavator and truck complex, open-pit mining, coalless zone.

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., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Study of the loading parameters of quarry dump trucks as a factor in increasing their productivity. *Ugol’*. 2025;(12):111-115. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-12-111-115.

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

Открытые горные работы, несмотря на кризис угледобывающей отрасли, являются основным видом добычи полезных ископаемых [1]. В связи с этим особо остро возникает вопрос об изыскании способов повышения их эффективности, в том числе производительности [2, 3, 4, 5]. При отработке как породных, так и угольных уступов, а также развалов взорванных коренных пород вскрыши нижним черпанием возникает вопрос о рациональности режима подачи автосамосвалов под погрузку. Как известно из ранее опубликованных работ [6, 7, 8, 9], при нижнем черпании обратной гидролопатой установка автосамосвала под погрузку может быть нижней, верхней и на уровне стояния экскаватора. Верхняя погрузка используется крайне редко, обычно в стесненных условиях работы экскаватора или при невозможности использования иных режимов погрузки. Это обусловлено тем, что при верхней погрузке происходит резкий рост времени цикла экскаватора и, как следствие – падение производительности экскаваторно-автомобильного комплекса в целом. Также верхняя погрузка может использоваться при отработке разнородных породоугольных забоев, осложненных геологическими нарушениями [10]. Кроме того, из-за известной ограниченности технических и технологических параметров экскаватора верхняя погрузка повлечет за собой некоторое ограничение высоты уступа (подуступа), отрабатываемого верхним черпанием [11, 12]. Совокупность этих факторов предопределяет относительно узкую область применения верхней погрузки при любом из режимов черпания экскаватора. При погрузке на уровне установки обеспечивается сравнительно удобное расположение автосамосвалов в режиме ожидания: как правило, рабочая площадка экскаватора имеет достаточную ширину для удобства маневрирования транспортного оборудования. Однако время экскаваторного цикла не будет минимальным вследствие необходимости подъема груженого ковша на уровень верхней кромки кузова автосамосвала и создания необходимого зазора между ковшом и кузовом для безопасной погрузки. Близким к идеальному варианту является режим работы обратной гидравлический лопаты с нижним черпанием и нижней погрузкой в автосамосвал, поскольку в условиях реального горного производства обычно стремятся привести высоту отрабатываемого слоя к высоте автосамосвала для минимизации времени цикла. Данное технологическое решение имеет безусловные преимущества с точки зрения обеспечения максимальной производительности экскаватора, однако к его отрицательным сторонам можно отнести увеличение расстояния транспортирования (плеча откатки) по объективным причинам: самосвал должен выезжать с нижнего уступа, т.е. растет время цикла транспортных средств. Если при значительном расстоянии транспортирования (допустим, 5 км и более) такой рост не сыграет особой роли в изменении общей производительности экскаваторно-автомобильного комплекса, то при малом плече откатки снижение производительности (по сути, числа рейсов транспортного средства) будет достаточно существенным. Выполненный анализ вышеуказанных работ, а также выполненных зарубежными учеными [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] показал, что данный вопрос недостаточно исследован и требует дальнейшего изучения.

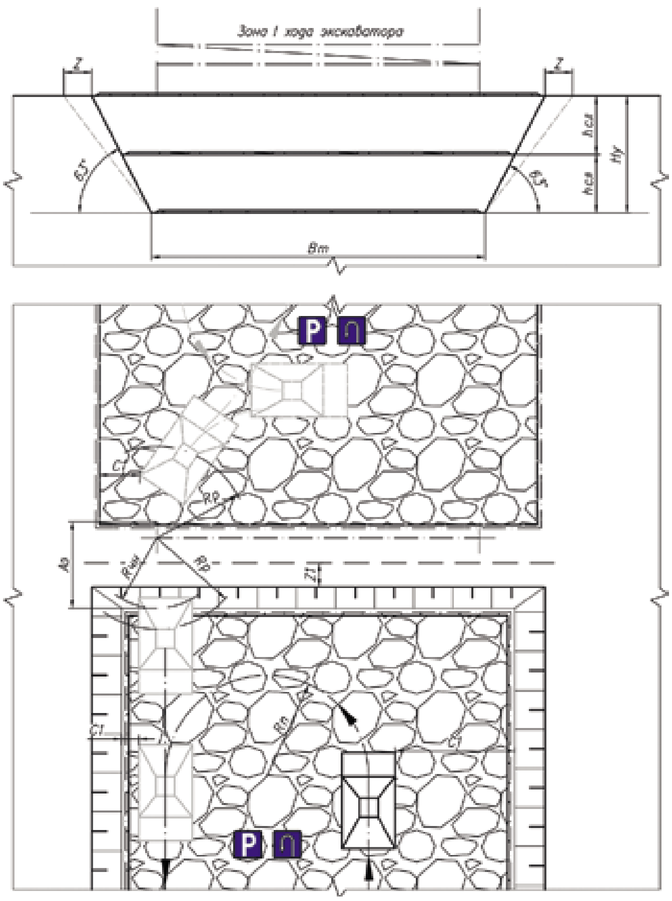

Рис. 1. Технологическая схема проходки разрезной траншеи обратной гидролопатой Komatsu PC1250 с погрузкой в карьерные самосвалы БелАЗ-7530 ниже и на уровне стояния экскаватора

Fig. 1. A technological diagram of making an initial cut with the Komatsu PC1250 backhoe with loading the BelAZ-7530 dump trucks located below and at the same level with the backhoe

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Идеальным вариантом решения данного вопроса было бы распределение грузопотоков по разным горизонтам, например, те автосамосвалы, которые подаются под погрузку на уровне установки экскаватора, выезжали на внешний отвал, а самосвалы, подаваемые под нижнюю погрузку, были бы направлены на внутренний отвал, расположенный на нижних горизонтах в выработанном пространстве участка. Однако такие условия работы в реальности практически недостижимы.

Рассмотрим варианты работы экскаваторно-автомобильного комплекса на примере реальных технологических схем: работа экскаватора нижним черпанием при проходке траншеи по взорванной горной массе *(рис. 1)*.

Как следует из данной схемы, экскаватор может осуществлять два вида погрузки – нижнюю и на уровне своей установки.

Предположим, что выезд на вышележащий уступ находится на расстоянии 0,5 км от текущего положения забоя экскаватора. Тогда время, за которое автосамосвал доедет от места нижней погрузки до точки погрузки на уровне установки экскаватора, можно рассчитать по формуле:

$$\Delta t = \frac{S_{\text{тр.заб}}}{V_{\text{тр.заб}}} + \frac{S_{\text{тр.н}}}{V_{\text{тр.н}}} + \frac{S_{\text{тр.г}}}{V_{\text{тр.г}}},$$

где $S_{\text{тр.заб}}$, $S_{\text{тр.н}}$, $S_{\text{тр.г}}$ – длина транспортирования по призабойному участку, наклонной выработке и горизонтальному участку карьерной автодороги соответственно; $V_{\text{тр.заб}}$, $V_{\text{тр.н}}$, $V_{\text{тр.г}}$ – скорости движения автосамосвала по соответствующим элементам дороги.

Длина наклонного участка дороги будет равна:

$$S_{\text{тр.н}} = \frac{h_{\text{у.ск}}}{i_{\text{р}}},$$

где $h_{\text{у.ск}}$ – высота скального уступа, м; $i_{\text{р}}$ – руководящий уклон, ‰.

При высоте уступа 15 м и руководящем уклоне 80‰ длина наклонного участка дороги будет равна 187,5 м.

Средневзвешенные скорости движения автосамосвалов БЕЛАЗ-7530 в груженом направлении по призабойным участкам, траншее и внутрикарьерной автодороге из производственного опыта можно принять равными 12, 10 и 20 км/ч соответственно; в порожнем направлении скорости увеличиваются до 15, 18 и 25 км/ч.

Тогда, при погрузке ниже уровня установки экскаватора, дополнительное время на перемещение груженого автосамосвала (до места установки при погрузке на уровне стояния экскаватора) будет равно:

$$\Delta t_{\text{гр}} = \frac{S_{\text{тр.заб}}}{V_{\text{тр.заб}}} + \frac{S_{\text{тр.н}}}{V_{\text{тр.н}}} + \frac{S_{\text{тр.г}}}{V_{\text{тр.г}}} = \frac{0,5}{12} + \frac{0,1875}{10} +$$

$$+ \frac{(0,5 + 0,1875)}{20} = 0,0879 \text{ ч} = 5,3 \text{ минуты.}$$

а время движения в порожнем направлении до места установки при нижней погрузке:

$$\Delta t_{пор} = \frac{S_{тр.заб}}{V_{тр.заб}} + \frac{S_{тр.н}}{V_{тр.н}} + \frac{S_{тр.г}}{V_{тр.г}} = \frac{0,5}{15} + \frac{0,1875}{12} + \\ + \frac{(0,5+0,1875)}{25} = 0,076 \text{ ч} = 4,6 \text{ минуты}.$$

В сумме время рейса при заданных условиях увеличивается на 9,9 минут ($\Delta t = \Delta t_{гр} + \Delta t_{пор}$), т.е на (9,9/60 = 0,165 часа).

Считая, что отвал находится на расстоянии 5 км от текущего положения забоя экскаватора, можно определить количество рейсов автосамосвала за смену при погрузке на уровне стояния:

$$n_{р.см} = \frac{T_{см}}{\left(\frac{S_{общ}}{V_{ср.вз}}\right)} = \frac{12}{\left(\frac{10}{22}\right)} = 26,4 \text{ рейса},$$

а при нижней погрузке:

$$n_{р.см} = \frac{T_{см}}{\left(\frac{S_{общ}}{V_{ср.вз}}\right) + 0,153} = \frac{12}{\left(\frac{10}{22}\right) + 0,165} = 19,4 \text{ рейса}.$$

При ином расстоянии от забоя до отвала общая качественная картина полученных зависимостей в целом не претерпевает изменений, но при изменении среднесменной (груженое + порожнее направления) скорости движения самосвала (20, 22 и 24 км/ч) возникла необходимость в проведении перерасчета, результаты которого представлены в графическом виде *(рис. 2)*.

Для определения влияния изменения скорости на тот или иной коэффициент в вышеприведенной формуле была построена зависимость разности числа рейсов самосвала ΔN (здесь имеется в виду разность между числом рейсов при погрузке на уровне установки и нижней погрузкой, т.е. с возросшим временем рейса) от увеличения расстояния транспортирования ΔL. Полученная зависимость приведена на *рис. 3*.

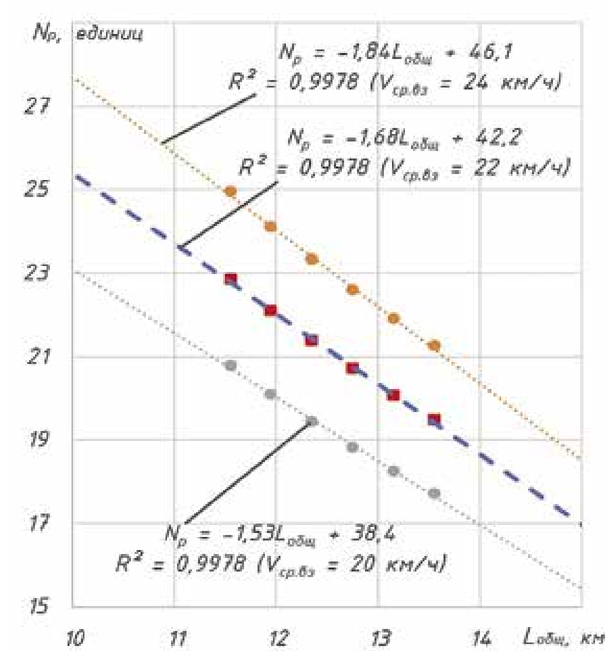

Рис. 2. Изменение сменного числа рейсов при увеличении расстояния транспортирования и различной скорости движения самосвала

Fig. 2. Changes in the number of trips per shift with increasing the hauling distance and different dump truck speeds

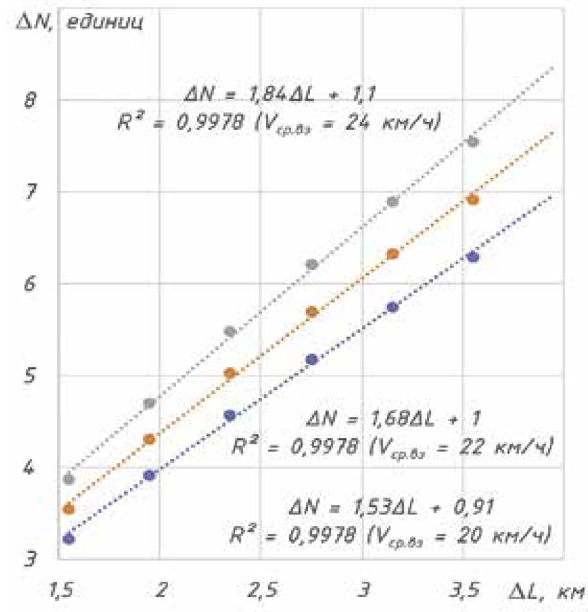

Рис. 3. Изменение разности числа рейсов самосвала при увеличении дополнительного расстояния транспортирования из-за выезда с нижележащего уступа

Fig. 3. Changes in the number of dump truck trips with increasing the additional hauling distance due to traveling from a lower bench

ВЫВОДЫ

В результате расчетов установлено следующее:

– количество рейсов при изменении условий погрузки и средневзвешенной скорости движения автосамосвала по маршруту может быть описано линейной зависимостью вида $N_р = –a \cdot L_{общ} + b$, где a изменяется на Δa = 0,15, а b изменяется на Δb = 3,85 при изменении скорости на ΔV = 2 км/ч;

– изменение числа рейсов ΔN от режима погрузки (по сути, увеличении плеча откатки) для различной средневзвешенной скорости движения самосвала по маршруту описано линейной зависимостью вида $\Delta N = a \cdot \Delta L + b$, причем a снижается на Δa = 0,15, а b – на Δb = 0,1 на каждый шаг снижения скорости в размере 2 км/ч.

– абсолютные значения коэффициента a одинаковы как при определении общего числа рейсов за смену, так и при определении изменения числа рейсов.

Список литературы • References

1. Шаклеин С.В., Писаренко М.В., Рогова Т.Б. Тенденции развития минерально-сырьевой базы угольной промышленности Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2024. № 1(24). С. 4-22. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-1-4-22.
Shaklein S.V., Pisarenko M.V., Rogova T.B. Trends in the development of the mineral resource base of the Kuzbass coal industry. *Mining equipment and technology*. 2024;1(24):4-22. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2024-1-4-22.
2. Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные само-

свалы / 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. et al. On changes in the performance of reverse hydraulic shovels with different schemes of loading overburden into mining dump trucks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mining Journal.* 2024;(4):26-34. (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34.

3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Martyanov V.L., Markov S.O., Kolesnikov V.F. et al. Study of inclined deposits opening under the combined mining system: Kureinsky area case-study. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2021;4(15):64-88. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-4-64-88.
8. 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.
9. 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.
10. Методика определения зон нарушений пластов для повышения достоверности данных геологоразведки / С.М. Милый, М.А. Роженко, К.А. Прокопенко и др. // Техника и технология горного дела. 2019. № 2(5). С. 4-18. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-04-18.
Milyj S.M., Rozhenko M.A., Prokopenko K.A., Korotkova G.I. Methodology for determining formation disturbance zones to increase the reliability of geological exploration data. *Mining equipment and technology*. 2019;2(5):4-18. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-04-18.
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 Montanistica Slovaca.* 2024;29(1):180-192. DOI: 10.46544/AMS.v29i1.16.
14. Janosevic D., Mitrev R., Andjelkovic B., Petrov P. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency. *Journal of Zhejiang University: Science A*. 2012;13(12):926-942. DOI: 10.46544/AMS.v27i2.02.
15. Mitrev R., Janošević D., Marinković D. Dynamical modelling of hydraulic excavator considered as a multibody system. *Tehnicki Vjesnik*. 2017;(24):327-338. DOI: 10.17559/TV-20151215150306.
16. Zou Z., Pang X., Chen J. Comprehensive theoretical digging performance analysis for hydraulic excavator using convex polytope method. *Multibody Syst Dyn*. 2019;(47):137-164. DOI: 10.1007/s11044-019-09686-0.
17. Azure J., Ayawan P., Kaba A. et al. Hydraulic Shovel Digging Phase Simulation and Force Prediction Using Machine Learning Techniques. Mining, Metallurgy & Exploration. 2021;(38). DOI: 10.1007/s42461-021-00486-9.
18. Mishra P.C., Mohanty M.K. A review of factors affecting mining operation. *World Journal of Engineering*. 2020;17(3):457-472. DOI: 10.1108/WJE-03-2019-0082.
19. Ambriško L., Marasová D., Grendel P., Lukáč S. Application of logistics principles when designing the process of transportation of raw materials. *Acta Montanistica Slovaca.* 2015;20(2):141-147.
20. Moravič M., Marasová D., Król R., Ozdoba M., Slíva A., Kubala D. Application of the method of reducing rotating masses in mining transport systems. *Acta Montanistica Slovaca.* 2024;29(4):1058-1068.

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

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

Tyulenev M.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Open-Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: tma.geolog@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