

УДК 622.271.3 © С.О. Марков, Д.М. Дубинкин, М.А. Тюленев✉, 2024

UDC 622.271.3 © S.O. Markov, D.M. Dubinkin, M.A. Tyulenev✉, 2024

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия,
✉ e-mail: tma.geolog@kuzstu.ruT.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),
Kemerovo, 650000, Russian Federation
✉ e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Влияние горнотехнических факторов на объем забойного блока при работе обратных гидролопат*

Influence of mining and technical factors on the face block volume during backhoes operation

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-115-129-133>

При добыче твердых полезных ископаемых открытым способом погрузка горной массы из забоя осуществляется, как правило, без перемещения экскаватора до полной погрузки автосамосвала. Чтобы обеспечить наполнение кузова автосамосвала при максимальной производительности экскаватора, объем горной массы в одновременно вынимаемом забойном блоке должен соответствовать вместимости кузова с учетом разрыхления горной породы при выемке. В статье рассмотрено влияние минимального радиуса черпания экскаватора на уровне его установки и шага передвижки на объем забойного блока с учетом безопасной работы выемочно-погрузочного и транспортного оборудования. В качестве примера рассматривается экскаватор обратная гидравлическая лопата Komatsu PC1250 при работе в паре с самосвалом БЕЛАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т при разработке угля нижним черпанием с постановкой автосамосвала ниже уровня экскаватора со стороны откоса вкрест простирания пласта.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 № 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») 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 открытые горные работы
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия
e-mail: markovso@kuzstu.ru

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры горных машин и комплексов
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

ТЮЛЕНЕВ М.А.

Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой открытые горные работы
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru



**НОЦ
КУЗБАСС –
ДОНБАСС**

Научно-образовательный
центр «Кузбасс – Донбасс»

Ключевые слова: производительность экскаватора, обратная гидравлическая лопата, экскаваторно-автомобильный комплекс, забойный блок, открытые горные работы, угленасыщенная зона, шаг передвижки, карьерный самосвал

Для цитирования: Марков С.О., Дубинкин Д.М., Тюленев М.А. Влияние горнотехнических факторов на объем забойного блока при работе обратных гидролопат // Уголь. 2024;(11S):129-133. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-129-133.

Abstract

In open pit mining of solid minerals, loading of rock mass from the face is usually carried out without moving the excavator until the dump truck is fully loaded. To ensure that the dump truck body is filled at maximum excavator productivity, the volume of rock mass in a single removed face block should correspond to the capacity of the body, taking into account the loosening of rock during excavation. The article considers the influence of such factors as the minimum radius of excavator digging at the level of its placement, the step of excavator movement, the coefficient of rock loosening during its removal from the massif when working in the mining face, on the volume of downhole block and the angles of excavator rotation for unloading, taking into account the safe operation of excavation-loading and transportation equipment. As an example, the excavator Komatsu PC1250 backhoe is considered when paired with a dump truck BELAZ 7530 (capacity 220 tons) when loading coal by top and bottom digging, with the dump truck below the level of the excavator from the side of the slope across the strike of the seam.

Keywords

Excavator productivity, backhoe, excavator and truck complex, face block, open-pit mining, coal-bearing zone, moving pitch, quarry dump truck

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) 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

Markov S.O., Dubinkin D.M., Tyulenev M.A. Influence of mining and technical factors on the face block volume during backhoes operation. *Ugol'*. 2024;(11S):129-133. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-129-133.

ВВЕДЕНИЕ

Программой развития угольной промышленности России на период до 2035 года [1, 2] предусмотрены развитие существующих и разведка и ввод в эксплуатацию новых перспективных участков угледобычи [3, 4, 5]. Доля Кемеровской области – Кузбасса в добыче угля в Российской Федерации сохраняется на первом месте как в настоящий момент (порядка 55%), так и в планах, предусмотренных Программой (от 45 до 48%). Данное обстоятельство указывает на поддержание высоких темпов добычи угля в Кузбассе открытым способом.

Применяемое на действующих разрезах Кузбасса выемочно-погрузочное оборудование, работающее на выемке угля, в большинстве своем представлено гидравлическими лопатами. Как правило, это экскаваторы обратного действия. Данное обстоятельство связано с тем, что выемка угля обратными гидролопатами осуществляется с минимальными потерями как верхним, так и нижним черпанием, а их параметры позволяют осуществлять погрузку вынутой горной массы в автосамосвалы широкого ряда по грузоподъемности и габаритам.

Работа выемочно-погрузочного и транспортного оборудования при ведении открытых горных работ ограничена не только горно-геологическими условиями разрабатываемого участка недр, но и правилами безопасности при ведении открытых горных работ. Согласно [6], при использовании взаимосвязанных в работе механизмов расстояние между ними по горизонтали и вертикали определяется документацией на производство работ, утвержденной техническим руководителем (главным инженером) угольного разреза. На практике безопасное расстояние между рабочим оборудованием экскаватора и автотранспортом при выемке горной массы принимается не менее 1 м. Расстояние между откосом уступа, отвала или транспортным средством и контргрузом экскаватора устанавливается проектом в зависимости от горно-геологических условий и типа оборудования и также должно быть не менее 1 м.

Технологические схемы работы комплексов выбирают, исходя из параметров выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, горно-геологических условий, норм и правил безопасности. При этом возникает вопрос рационального использования параметров рабочего оборудования экскаваторов. Работа при максимальном использовании геометрии движения стрелы, рукояти, ковша далеко не всегда целесообразна. Это связано как с увеличением энергопотребления и нагрузок, возникающих в узлах рабочего оборудования [7, 8], так и с уменьшением производительности экскаваторно-автомобильного комплекса [9, 10, 11, 12, 13].

В то же время погрузка взорванной горной массы или угля оптимальна в условиях, когда экскаватор осуществляет погрузку одного карьерного самосвала, не перемещаясь по рабочей площадке во время погрузки. Таким образом, встает вопрос о подборе таких параметров одновременно вынимаемого забойного блока, которые могут обеспечить:

- а) погрузку одного самосвала без перемещения экскаватора;
- б) максимальную производительность экскаватора.

Одновременно с этим необходимо решить вопрос об оптимальном подборе выемочно-погрузочного оборудования для конкретных горно-геологических условий [14, 15], в которых данное оборудование будет работать в комплексе с конкретным транспортным оборудованием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматриваемое в данной статье выемочно-погрузочное оборудование представлено экскаватором – обратной гидролопаты Komatsu PC1250, повсеместно применяемым на угольных предприятиях Кузбасса. В качестве транспортного оборудования рассматривается карьерный самосвал БЕЛАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т. Данный тип автосамосвала достаточно широко используется на разрезах Кузбасса; в то же время на его платформе в КузГТУ совместно с МГТУ им. Баумана и при поддержке Правительства Кузбасса в рамках комплексной научно-технической программы «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс», а также в соответствии с целями развития Российской Федерации [2] разрабатывается тяжелая автономная платформа.

Для определения параметров забойных блоков применялось 3D-моделирование геометрии участка недр и технологической схемы с применением указанного выемочно-погрузочного и транспортного оборудования в САПР «nanoCAD».

Горно-геологические условия отработки пластовых угольных месторождений Кузбасса представлены самым широким спектром углов залегания пластов (от 5 до 87°), их мощностей (от маломощных в несколько сантиметров, не представляющих промышленного значения, до нескольких десятков метров) и мощностей междупластий [16, 17, 18, 19, 20, 21]. Разрывная тектоника представлена сбросовыми нарушениями, чешуйчатыми надвигами

в краевых частях Кузнецкой котловины. Также присутствуют дискордантные магматические тела, осложняющие отработку осадочной углевещающей толщи горных пород (в основном юг и центр Кузбасса).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим вариант отработки наклонного угольного пласта, когда ось вращения экскаватора лежит в плоскости продольной оси самосвала. При этом предполагается, что самосвал стоит перпендикулярно нижней бровке уступа, как показано на рис. 1.

При таком размещении экскаватора выемка угольного пласта может производиться одновременно нижним и верхним черпанием. Забойный блок, расположенный ниже уровня установки экскаватора, обозначен на рис. 1 красным цветом, выше уровня – зеленым.

При этом глубина черпания H_k ниже уровня установки экскаватора будет ограничена:

- техническими факторами: максимальным радиусом разгрузки, при котором вынимаемая горная масса может быть равномерно распределена в кузове самосвала, габаритами самосвала, траекторией движения зубьев ковша экскаватора;
- технологическими факторами: безопасным расстоянием от самосвала до нижней бровки откоса добычного уступа и положением его относительно экскаватора; безопасным расстоянием от кузова экскаватора до откоса верхнего вынимаемого слоя;
- геомеханическими факторам: устойчивыми и временными углами откосов забоев и уступов;
- геологическими факторами: углом залегания пласта, его мощностью.

При соблюдении указанных условий глубина черпания H_k в рассматриваемом случае принимает значение 2,5 м,

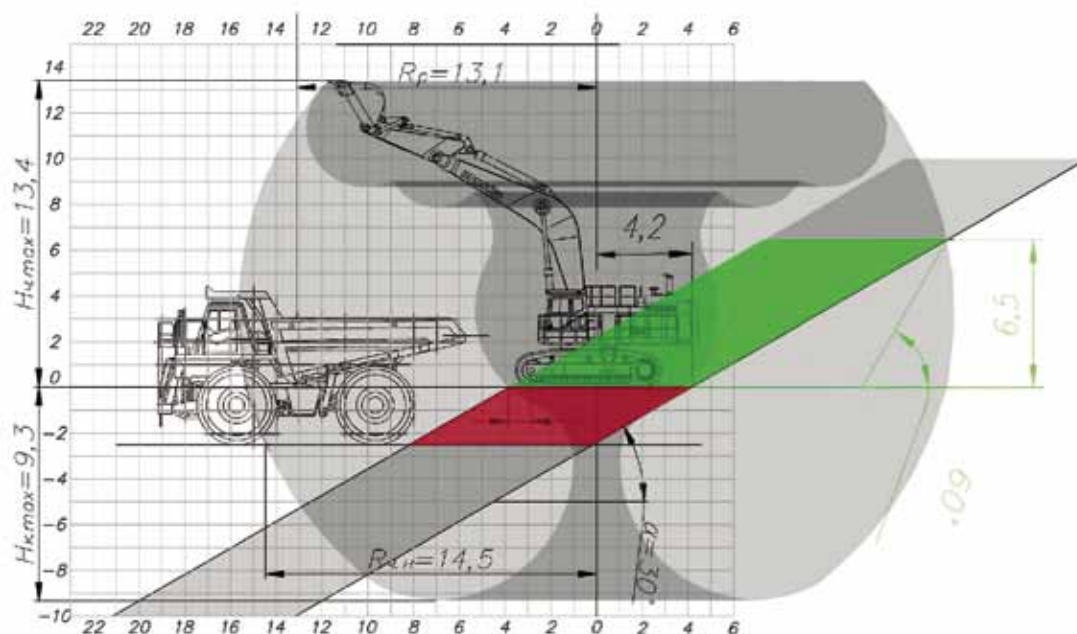


Рис. 1. Технологическая схема отработки угольного пласта с применением обратной гидролопаты (профиль) с применением самосвала грузоподъемностью 220 т.

Fig. 1. A technological flow diagram of coal seam mining using a hydraulic backhoe (profile) with a 220 tonne dump truck

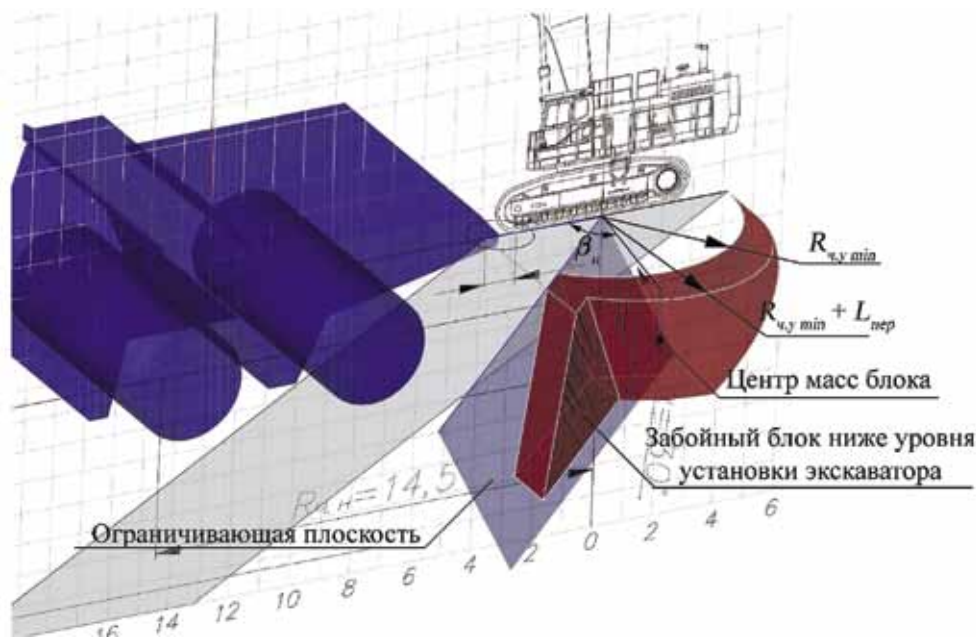


Рис. 2. Схема к определению геометрии забойного блока ниже уровня установки экскаватора

Fig. 2. A schematic drawing to define the face block geometry below the excavator positioning level

минимальный радиус черпания на уровне установки экскаватора ограничен расстоянием от оси вращения экскаватора и подошвой пласта и составляет $R_{ч.у min} = 4,2$ м, радиус разгрузки $R_p = 13,1$ м. Забой после отработки очередного блока формируется начиная от рабочей площадки по минимальному радиусу черпания и плоскости, ограничивающей забойный блок со стороны самосвала (ограничивающей плоскости), под устойчивым углом откоса 60° (рис. 2).

ВЫВОДЫ

Шаг передвижки экскаватора $L_{пер}$ регулируется параметрами забойного блока, расположенного ниже уровня установки экскаватора, а именно ограничивающей плоскостью. Ее след на рабочей площадке является следом пересечения вертикальной плоскости, в которой может двигаться рукоять экскаватора при нижнем черпании на безопасном расстоянии от кузова самосвала. Ограничивающая плоскость наклонена от самосвала под углом устойчивого откоса уступа по углу (60°). Положение ограничивающей плоскости может быть изменено путем смещения продольной оси самосвала относительно оси вращения экскаватора «вперед» по направлению подвигания забоя.

Шаг передвижки экскаватора, как показали результаты моделирования, не может быть более 1,81 м. Это связано с условием отработки самой нижней и дальней части забойного блока от места установки экскаватора, которая расположена в точке пересечения ограничивающей плоскости площадки установки самосвала БЕЛАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т и внешней траектории движения зубьев ковша. При шаге передвижки более 1,81 м часть пласта в окрестностях этой точки не будет отработана. Указанное расстояние определяет максимальный технологический радиус черпания на уровне установки экскаватора $R_{ч.у}$ и объем забойного блока $V_{н} = 36,2$ м³.

Максимальная высота прочерпывания ограничивается траекторией движения зубьев ковша, временным углом откоса по углу и положением подошвы вынимаемого пласта относительно оси вращения экскаватора и составляет $H_{ч} = 6,5$ м (см. рис. 1).

Минимально возможный технологический радиус черпания на уровне установки экскаватора $R_{ч.у min}$ при выемке верхнего блока определяется траекторией положения зубьев ковша, а также положением кровли и подошвы пласта.

Список литературы • References

1. Распоряжение Правительства РФ от 13 июня 2020 г. № 1582-р об утверждении Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года.
2. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
3. Босиков И.И., Ключев Р.В. Оценка перспективности территории Березкинского рудного поля при помощи программного продукта Micromine // Горные науки и технологии. 2022. № 7(3). С. 192-202. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-192-202. Bosikov I.I., Klyuev R.V. Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine software. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2022;7(3):192-202. (in Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-192-202.
4. Markov S., Janočko Ju., Tyulenev M., Litvin Ya.O. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits. *E3S Web of Conferences*. 2019;(105):01021. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501021.
5. 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 mineral resource base development of the Kuzbass coal industry. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2024;1(24):4-22. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2024-1-4-22.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом». Утв. Приказом Ростехнадзора от 10 ноября 2020 г. № 436.
 7. 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.
 8. Azure J., Ayawa 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.
 9. Gvozdkova T., Kuznetsov E., Rudakova A., Markov S. The features of three- and four-tier internal dumps capacity calculation with the additional capacity preparation in the dump tiers. *E3S Web of Conferences*. 2017;(15):01008. DOI: 10.1051/e3sconf/20171501008.
 10. Tyulenev M., Markov S., Zhironkin S., Gasanov M. 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.
 11. Литвин О.И., Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Стенин Д.В., Тюленев М.А. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 112-120. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V., Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of open-pit hydraulic shovels and backhoes. *Gornaya promyshlennost'*. 2022;(5):112-120. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
 12. 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.
 13. 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., Lapaev M.N., Tyulenev M.A. Determination of the area of energy-efficient position of working equipment and effective digging radius of hydraulic excavators at open pit mining. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. 2022. №4(120). С. 38-44. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332-2022-4-38.
 14. Формирование выемочно-погрузочных комплексов и технологических схем ведения горных работ в угленасыщенных зонах разрезов / В.Ф. Колесников, А.И. Корякин, В.А. Ермолаев и др. // Техника и технология горного дела. 2023;2(21):26-58. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-26-58.
Kolesnikov V.F., Koryakin A.I., Ermolaev V.A., Voronkov V.F. Creation of excavation and loading complexes and technological schemes of mining operations in coal-bearing zones of open-pit mines. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2023;2(21):26-58. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-26-58.
 15. Martyanov V., Markov S., Kolesnikov V., Tyuleneva E., Cehlár M., Janočko J., Márasová D., Cagáňová D. 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.
 16. Методика определения зон нарушений пластов для повышения достоверности данных геологоразведки / С.М. Мильный, М.А. Роженко, К.А. Прокопенко и др. // Техника и технология горного дела. 2019. № 2(5). С. 4-18. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-4-18.
Miliy S.M., Rozhenko M.A., Prokopenko K.A., Korotkova G.I. Methodology for identifying seams disturbance zones to increase the reliability of exploration data. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2019. №2(5). С. 4-18. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-2-4-18.
 17. Novinkov A., Protasov S., Samusev P. Ensuring Seismic Safety of Underground Mines During Blasting Operations in Combined Surface-Underground Deposit Development. *E3S Web of Conferences*. 2020;(174):01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401016.
 18. Марков С.О., Мурко Е.В., Непша Ф.С. Гранулометрический состав отвальных массивов разрезов Кузбасса // Горные науки и технологии. 2021;6(4):259-266. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266.
Markov S.O., Murko E.V., Nepsha F.S. Grain size distribution of waste rock masses of Kuzbass coal strip mines. *Gornye nauki i tekhnologii*. 2021;6(4):259-266. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266.
 19. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A., Mukhomedzyanov I. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering. *E3S Web of Conferences*. 2019;(105):02029. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502029.
 20. Ulewicz R., Krstić B., Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022;27(2):291-305.
 21. Kozel R., Bělca J., Kempa F., Chlopečký 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.

Authors Information

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

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

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

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024