

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

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

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ), 650000, г. Кемерово, Россия,  
✉ e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),  
Kemerovo, 650000, Russian Federation  
✉ e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

# Адаптация параметров забойных блоков при выемке наклонных угольных пластов к применяемому транспортному оборудованию\*

## Adaptation of parameters of face blocks during excavation of inclined coal seams to the transport equipment used

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-115-140-145>

### МАРКОВ С.О.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры открытых  
горных работ ФГБОУ ВО «КузГТУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: markovso@kuzstu.ru

### ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры горных машин  
и комплексов ФГБОУ ВО «КузГТУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

### ХОРЕШОК А.А.

Доктор техн. наук, профессор,  
научный руководитель  
Горного института  
ФГБОУ ВО «КузГТУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

### ТЮЛЕНЕВ М.А.

Канд. техн. наук, доцент,  
заведующий кафедрой открытых  
горных работ ФГБОУ ВО «КузГТУ»,  
650000, г. Кемерово, Россия,  
e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

*Шаг передвижки экскаватора не относится к общепринятым параметрам системы открытой разработки, однако его точное определение весьма важно, поскольку он напрямую влияет на объем и конфигурацию забойного блока. При формировании состава экскаваторно-автомобильного комплекса возникает вопрос о взаимном соответствии выемочно-погрузочного и транспортного оборудования с точки зрения возможного достижения полного совпадения объема забойного блока и объема кузова автосамосвала. Однако изменение горно-геологических условий неизбежно повлечет за собой несоответствие вышеуказанных параметров. Этот вопрос является весьма актуальным вследствие постоянного усложнения условий ведения горных работ. В данной статье приведены некоторые положения методики адаптации параметров забойных блоков путем изменения шага передвижки экскаватора к объему кузова автосамосвала; комплекс оборудования представлен распространенными моделями Komatsu PC 1250 и БЕЛАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т.*

\* 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» по Комплексной научно-технической программе 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.



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

**Для цитирования:** Адаптация параметров забойных блоков при выемке наклонных угольных пластов к применяемому транспортному оборудованию / С.О. Марков, Д.М. Дубинкин, А.А. Хорешок и др. // Уголь. 2024;(115):140-145. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-140-145.

### Abstract

The excavator moving pitch does not belong to the generally accepted parameters of the open-pit mining system, but its precise determination is very important, because it directly affects the volume and configuration of the face block. When forming the composition of the excavator-haul truck complex, the question arises about the mutual compliance of excavation-loading and transportation equipment from the point of view of the possible achievement of a complete match between the volume of the face block and the volume of the dump truck body. However, changes in mining and geological conditions will inevitably entail a mismatch of the above parameters. This issue is very relevant due to the constant complication of mining conditions. This article presents some provisions of the methodology of face block parameters adaptation by changing the excavator moving pitch to the dump truck body volume; the equipment complex is represented by the common models Komatsu PC 1250 and BELAZ 7530 with payload capacity of 220 tons.

### Keywords

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

### 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., Khoreshok A.A., Tyulenev M.A. Adaptation of parameters of face blocks during excavation of inclined coal seams to the transport equipment used. *Ugol*. 2024;(115):140-145. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-140-145.

## ВВЕДЕНИЕ

При уменьшении шага передвижки экскаватора неизбежно будет уменьшаться и «толщина» забойных блоков по простиранию пласта, следовательно, будет уменьшаться их объем [1, 2, 3, 4, 5]. На рис. 1 приведено изменение вынимаемых объемов угля из верхнего и нижнего блоков при изменении шага передвижки от 1,81 м до 1,0 м.

Суммарный вынимаемый объем горной массы (в целике) растет линейно с увеличением шага передвижки; это изменение адекватно описывается зависимостью:

$$V = 71,627 \cdot L_{\text{пер}} + 0,0201. \quad (1)$$

Чтобы в общем случае найти требуемый шаг передвижки, необходимо учесть степень разрыхления горной массы в кузове карьерного самосва-

ла. Например, у разных литотипов угля она будет различна, поскольку степень измельчения угля и равномерность его гранулометрического состава при выемке и погрузке зависят от его прочностных и структурных свойств и мацерального состава. Для этого необходимо построить поверхность вида:

$$V = f(L_{пер}, K_p), \quad (2)$$

где  $K_p$  – коэффициент разрыхления горной массы в кузове самосвала.

Для угля, наносов и взорванных скальных горных пород коэффициент разрыхления будет различным. Натурные измерения показали, что значение коэффициента разрыхления породы в кузове карьерного самосвала  $K_p$  изменяется в достаточно широких пределах – от 1,1 для мягких связных пород во влажном состоянии до 1,5 и более – для трудновзрывааемых крупноблочных пород [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Для углей Кузнецкого угольного бассейна этот коэффициент в среднем принимает значения, близкие к 1,35.

На рис. 2 приведена поверхность, описывающая изменение объема горной массы в кузове самосвала в зависимости от коэффициента ее разрыхления и шага передвижки экскаватора, построенная на результатах анализа суммарного объема вынимаемых забойных блоков с учетом разрыхления в кузове самосвала. Приведенная поверхность может быть грубо описана уравнением плоскости вида:

$$V = \frac{34 \cdot L_{пер} - 25,7 \cdot K_p}{0,3} + 43,6, \text{ м}^3. \quad (3)$$

Данное уравнение весьма неточно описывает имеющуюся поверхность (отклонение расчетных значений объема угля от значений объема, представленных на рис. 2, составляет 15-20%), поэтому перейдем к нахождению уравнения поверхности второго порядка, аппроксимирующей полученные результаты.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первом приближении представленное изменение объема горной массы описывается уравнением поверхности:

$$V = A \cdot K_p^2 + B \cdot K_p \cdot L_{пер} + C \cdot L_{пер}^2 + D \cdot L_{пер} + E \cdot K_p + F, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где  $A, B, C, D, E, F$  – коэффициенты, определяющие форму аппроксимирующей модельной поверхности.

Решение уравнения (4) сводится к решению системы линейных уравнений, после решения которой и нахождения искоемых коэффициентов уравнение (4) приобретает вид:

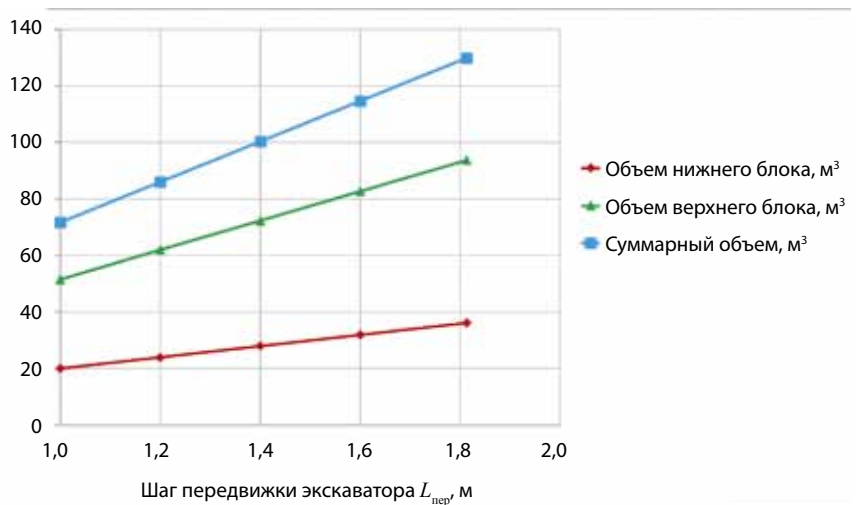


Рис. 1. Зависимость объема вынимаемой горной массы от шага передвижки экскаватора при работе на максимальном радиусе черпания при выемке верхнего забойного блока

Fig 1. Dependence of the excavated rock mass volume on the excavator travel step when working at the maximum digging reach when excavating the top face block

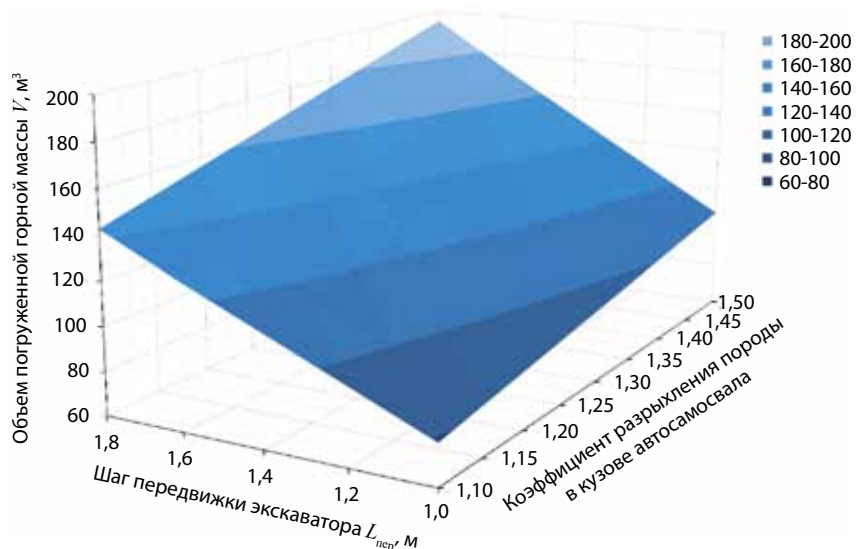


Рис. 2. Изменение объемов горной массы в кузове автосамосвала в зависимости от ее разрыхления и шага передвижки (при отработке верхнего забойного блока на максимальном радиусе черпания)

Fig. 2. Change in the rock mass volume in the dump truck body depending on its loosening and the travel step (when excavating the top face block at the maximum digging reach)

$$V = -1,39 \cdot K_p^2 + 71,63 \cdot K_p \cdot L_{пер} + 0,38 \cdot L_{пер}^2 - 1,07 \cdot L_{пер} + 3,62 \cdot K_p - 1,6, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Анализ инвариантов данного уравнения показывает, что оно описывает поверхность гиперболического параболоида.

Для расчета шага передвижки можно видоизменить формулу (5), выразив  $L_{пер}$  через остальные показатели:

$$L_{пер} = \frac{1,07 - 71,63 \cdot K_p}{0,76} +$$

$$+ \frac{\sqrt{5132,62 \cdot K_p^2 - 159,04 \cdot K_p + 1,53 \cdot V + 2,44}}{0,76} \quad (6)$$

Используя предложенную модель, можно оценить либо шаг передвижки экскаватора в зависимости от отгружаемого объема и коэффициента разрыхления угля по формуле (6), либо определить отгружаемый объем при заданном шаге передвижки и коэффициенте разрыхления по формуле (5).

Например, для рассматриваемой платформы на базе БЕЛАЗ 7530 (грузоподъемность 220 т) с кузовом, нагруженным «с шапкой» 2:1 объемом угля  $V = 141 \text{ м}^3$  с коэффициентом его разрыхления в кузове  $K_p = 1,35$ , шаг пере-

движки в рассматриваемых горно-геологических и горно-технических условиях целесообразно будет выбрать равным  $L_{пер} = 1,45 \text{ м}$  при условии работы на максимально возможном радиусе черпания  $R_{ч.у. min}$ . Такое значение шага передвижки обеспечит ритмичность и бесперебойность работы экскаватора, поскольку во временной промежуток передвижки экскаватора будет одновременно происходить обмен самосвала.

Рассмотрим работу экскаватора при минимально возможном значении радиуса черпания на уровне установки  $R_{ч.у. min} = 4,18 \approx 4,2 \text{ м}$ . Данное значение справедливо для рассматриваемых горно-геологических и горнотехнических условий: мощность пласта 4 м и угол его залегания

$30^\circ$ , и определяется траекторией движения зубьев ковша и положением оси хода экскаватора относительно подошвы пласта. Ось хода экскаватора относительно кровли пласта (это верхняя бровка площадки установки экскаватора) остается на неизменном минимально возможном расстоянии, равном ширине призмы возможного обрушения [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Если в таких условиях геометрия забойного блока ниже уровня установки экскаватора не изменяется, то геометрия забойного блока выше уровня установки экскаватора претерпит значительные изменения: формируется значительная по объему (до  $1 \text{ м}^3$ ) призма непрочерпывания, полностью забираемая после передвижки экскаватора; вкрест простирания пласта образуется плоская поверхность забоя. Данное положение частично отражено в работах зарубежных ученых [18, 19]. Из-за изменения положения центра масс верхнего блока относительно точки его разгрузки в кузов карьерного самосвала резко меняются угол поворота экскаватора и характер его изменения при изменении шага передвижки – с увеличением шага передвижки он уменьшается, в отличие от увеличивающегося угла поворота при увеличении шага передвижки при работе на максимальном  $R_{ч.у. min}$ .

Изменение объемов вынимаемой горной массы в зависимости от шага передвижки при работе с минимально возможными значениями  $R_{ч.у. min}$  представлено на рис. 3.

Суммарное изменение вынимаемого объема описывается выражением:

$$V = 62,6 \cdot L_{пер} + 5,2, \text{ м}^3 \quad (7)$$

По аналогии с рассмотренным случаем работы на максимальном радиусе черпания построим поверхность в координатах  $(K_p, L_{пер}, V)$  для минимального радиуса черпания при отработке как верхнего, так и нижнего блоков (рис. 4).

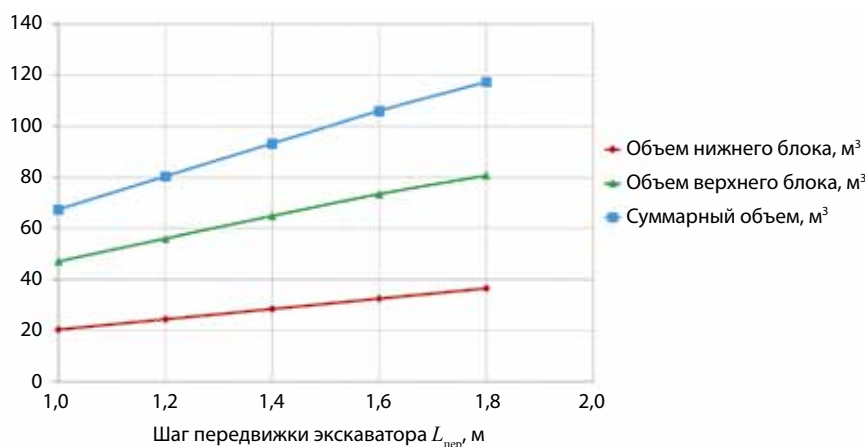


Рис. 3. Зависимость объема вынимаемой горной массы от шага передвижки экскаватора при работе на минимальном радиусе черпания при выемке верхнего забойного блока

Fig. 3. Dependence of the excavated rock mass volume on the excavator travel step when working at the minimum digging reach when excavating the top face block

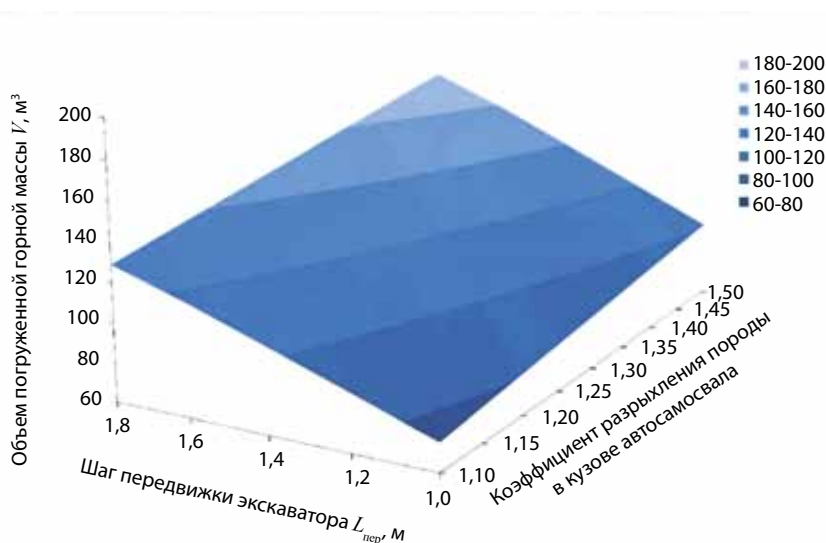


Рис. 4. Изменение объемов горной массы в кузове автосамосвала в зависимости от ее разрыхления и шага передвижки (при отработке верхнего забойного блока на минимальном радиусе черпания)

Fig. 4. Change in the rock mass volume in the dump truck body depending on its loosening and the travel step (when excavating the top face block at the minimum digging reach)

Аналогично уравнению (5) получаем уравнение поверхности, представленной на рис. 4:

$$V = 81,47 \cdot K_p^2 + 62,31 \cdot K_p \cdot L_{\text{пер}} - 31,72 \cdot L_{\text{пер}}^2 + 88,82 \cdot L_{\text{пер}} - 206,75 \cdot K_p + 77,33 \cdot \text{м}^3. \quad (8)$$

Анализ результатов расчета объемов разрыхленной горной массы по предложенным моделям показывает их отклонение в диапазоне  $\pm 0,06\%$  для модели (7) и  $\pm 3,9\%$  для модели (8) относительно результатов, полученных по геометрии забойных блоков и параметрам технологии (рис. 2, 4 соответственно). Это позволяет судить об адекватности предложенных математических моделей и методик их построения.

Для расчета шага передвижки можно видоизменить формулу (8), выразив  $L_{\text{пер}}$  через остальные показатели:

$$L_{\text{пер}} = \frac{-62,3 \cdot K_p - 88,8}{-63,4} + \frac{\sqrt{14220,8 \cdot K_p^2 - 15164,95 \cdot K_p - 126,883 \cdot V + 17700,7}}{-63,4}, \text{ м.} \quad (9)$$

Если при работе на максимально возможном значении  $R_{\text{ч.у. min}}$  призмы недобора по подошве пласта в верхнем блоке практически не образуются (их объем лежит в пределах  $0,005-0,02 \text{ м}^3$ ) и ими можно пренебречь, то при уменьшении радиуса черпания их объем начинает увеличиваться до  $0,5 \text{ м}^3$  и более. Поскольку увеличение потерь полезного ископаемого в связи с несовершенством применяемых технологических схем недопустимо, то рациональное уменьшение высоты верхнего слоя на  $0,5-1 \text{ м}$  (в зависимости от геометрии формируемого откоса забоя и образующихся призм недобора) позволит выбирать эти призмы после очередной передвижки экскаватора, что приведет к полному устранению потерь без изменения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса.

## ВЫВОДЫ

Одновременно с незначительным (до 10%) уменьшением высоты уступа происходит смещение верхнего забойного блока к экскаватору с уменьшением его объема на сопоставимых значениях передвижки экскаватора при работе его на максимальном радиусе черпания. Уменьшение объема верхнего забойного блока с уменьшением высоты верхнего слоя и величины  $R_{\text{ч.у. min}}$  должно быть компенсировано увеличением шага передвижки экскаватора, что неизбежно приведет к увеличению объема нижнего забойного блока.

Поскольку скорость передвижения экскаватора лежит в пределах  $2,1-3,2 \text{ км/ч}$ , то время, затрачиваемое на перемещение  $L_{\text{пер}} = 1,5 \text{ м}$  (около 2 с), несопоставимо мало относительно времени обмена автосамосвала (30-50 с). Таким образом, отработка верхнего слоя с малым значением  $R_{\text{ч.у. min}}$  гораздо выгоднее с точки зрения производительности экскаватора, нежели его отработка с увеличенными значениями  $R_{\text{ч.у. min}}$ .

На производительность экскаватора оказывает влияние не только угол поворота, но и расстояние перемещения горной массы из забоя до точки разгрузки –

чем меньше это расстояние, тем меньше время цикла работы экскаватора.

Приняв за точку разгрузки наивысшую точку породы в кузове загруженного «с шапкой» 2:1 карьерного самосвала, видно, что расстояние между центром масс верхнего забойного блока и точкой разгрузки при перемещении горной массы из верхнего блока на максимальном значении  $R_{\text{ч.у. min}} = 9,9 \text{ м}$  и шаге передвижки  $1,8 \text{ м}$  составляет  $19,6 \text{ м}$ , а при минимальном значении  $R_{\text{ч.у. min}} = 6 \text{ м}$  оно составляет  $16,6 \text{ м}$  (уменьшение на 16%). Прирост же угла поворота при работе с минимальным значением  $R_{\text{ч.у. min}}$  составляет 14% ( $138^\circ$  при  $R_{\text{ч.у. min}} = 6 \text{ м}$ ;  $119^\circ$  при  $R_{\text{ч.у. min}} = 9,9 \text{ м}$ ).

## Список литературы • References

1. 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):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 face blocks during mining operations with backhoes. *Gornaya promyshlennost*. 2021;(6):76-81. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
2. Безкорвайный П.Г., Шестаков В.С. Определение рациональных параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора с напорным звеном // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023;(1):25-35. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-25-35. Bezkorovainyi P.G., Shestakov V.S. Determining rational parameters for the impeller of a hydraulic excavator with a crowding mechanism. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gorniy zhurnal*. 2023;(1): 25-35. (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-1-25-35.
3. Litvin O., Makarov V., Strelnikov A., Tyuleneva E. Study of the Backhoe's Digging Modes at Rock Face Working-Out. *E3S Web of Conferences*. 2019;(105):01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024.
4. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора / А.П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, Р.Ш. Набиуллин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022;(4):156-168. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-156. Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Digital model of shovel work process. *Gorniy informatsionno-analiticheskij bulletin*. 2022;(4):156-168. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-156.
5. 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):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 nedropolzovanie*. 2022;4(120):38-44. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332-2022-4-38.
6. Бирюков А.В., Кузнецов В.И., Ташкинов А.С. Статистические модели в процессах горного производства. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1996. 227 с.
7. 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.
8. 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.
  9. Murko E., Janočko Ju., Makridin E., Kapko M. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2021;(315):02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
  10. Larionov A.V., Volobaev V.P., Zverev A.S. et al. Chemical Composition and Toxicity of PM10 and PM0.1 Samples near Open-Pit Mines and Coal Power Stations. *Life*. 2022;12(7):1047. DOI: 10.3390/life12071047.
  11. Leshukov T.V., Legoshchin K.V., Yakovenko O. et al. Fractional Composition and Toxicity Coal-Rock of PM10-PM0.1 Dust near an Open-cast Coal Mining Area and Coal-Fired Power Station. *Sustainability*. 2022;14(24):16594. DOI: 10.3390/su142416594.
  12. Gvozdikova T., Markov S., Demirel N., Anyona S. Modeling of Three Flat Coal Seams Strata Developing at Open Pit Mining. *E3S Web of Conferences*. 2017;(21):01024. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101024.
  13. 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, С.О. Марков // Техника и технология горного дела. 2023;3(22):71-81. DOI 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81.  
Dubinkin D.M., Khoreshok A.A., Ismailova Sh.Ya., Markov S.O. Study of the influence of the bench height change on the current stripping ratio when using autonomous quarry dump trucks with payload capacity of 240 tons. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2023;(3):71-81 (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2023-3-71-81.
  14. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Влияние процесса погрузки угля в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-7530 (220 т) // Уголь. 2023;(S12):11-19. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19.  
Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. The effect of the coal loading process on the loading platform on the utilization factor of the BelaZ-7530 220-ton mining dump truck. *Ugol'*. 2023;(S12):11-19. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-11-19.
  15. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение параметров модели угля для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Уголь. 2023;(S12):4-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.  
Dubinkin D.M. & Yalyshev A.V. Determination of parameters of the coal model for simulation of loading and unloading of the cargo platform of a quarry dump truck. *Ugol'*. 2023;(S12):4-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-S12-4-10.
  16. 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.
  17. Klement'eva I.N., Kuziev D.A. Actual status and prospects for future development of surface miners, designed for blastless lit-by-lit excavation of solid rock. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(2):123-128. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0123-128.
  18. Kozel R., Bělca 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.
  19. 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.

#### Authors Information

**Markov S.O.** – PhD (Engineering), Associate Professor, 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, 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

**Khoreshok A.A.** – Doctor of Engineering Science, Professor, Principal Investigator of Mining Institute, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

**Tyulenev M.A.**, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Open Pit Mining Department, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), 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