

## Снижение потерь угля при работе карьерных мехлопат

А.А. Хорешок<sup>1</sup>, Д.М. Дубинкин<sup>1</sup>, С.О. Марков<sup>2</sup>, Е.А. Тюленева<sup>3</sup>, М.А. Тюленев<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

<sup>2</sup> Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Междуреченске, г. Междуреченск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Прокопьевский горно-проектный институт, г. Кемерово, Российская Федерация

✉ tma.geolog@kuzstu.ru

**Резюме:** В настоящее время значительная часть предприятий, ведущих разработку угольных пластов открытым способом, использует на добычных работах гидравлические экскаваторы – обратные и реже прямые лопаты, что влияет на снижение уровня потерь и повышение производительности. Однако на определенной части разрезов, в первую очередь тех, где горные работы подходят к завершению, до сих пор на добыче применяют карьерные мехлопаты в основном устаревших моделей отечественного производства. На основе метода, разработанного авторами ранее и частично воспроизведенного в данной статье, выполнен расчет значений высоты слоев, при работе с которыми не будет образовываться дополнительных потерь угля от непрочерпывания. Предложены формулы расчета высоты слоя для пяти моделей отечественных мехлопат. Различия в геометрических параметрах взаимного расположения элементов, задействованных в описанном методе, не позволяют сформировать единую зависимость высоты обрабатываемого слоя от влияющих факторов. Но данный метод может быть применен при определении высоты слоя для любой модели мехлопаты, однако для этого необходимо знать ее рабочие параметры: высоту напорного вала, расстояние от оси вращения экскаватора до оси пяты стрелы, минимальный радиус черпания и т.д.

**Ключевые слова:** прямая мехлопата, открытые горные работы, потери угля, высота черпания, забойный блок, траектория движения режущей кромки зубьев ковша

**Благодарности:** 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») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

**Для цитирования:** Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленева Е.А., Тюленев М.А. Снижение потерь угля при работе карьерных мехлопат. *Горная промышленность*. 2022;(6):88–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-88-94>

## Reduction of coal losses in operation of mining rope shovels

A.A. Khoreshok<sup>1</sup>, D.M. Dubinkin<sup>1</sup>, S.O. Markov<sup>2</sup>, E.A. Tyuleneva<sup>3</sup>, M.A. Tyulenev<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

<sup>2</sup> Mezhdurechensk Branch of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, Russian Federation

<sup>3</sup> Prokopyevsk Mining and Design Institute, Kemerovo, Russian Federation

✉ tma.geolog@kuzstu.ru

**Abstract:** A significant part of operations that are engaged in surface mining of coal are currently using hydraulic excavators, i.e. backhoes and less often face shovels, which reduces losses and improves productivity. However, a certain number of strip mines, especially those where mining activities are coming to a close, are still using mining rope shovels mostly domestically produced and of outdated models. Based on the method developed by the authors earlier and partially described in this article, the calculation of the layer height is made which will prevent additional losses of coal from the insufficient cutting depth. Formulas for calculating the layer height are proposed for five models of domestically produced rope shovels. The differences in geometric parameters of relative location of the elements that are used in the method described do not make it possible to establish a unified dependence of the worked-out layer height on the influencing factors. However, this method can be used to define the layer height for any model of the rope shovels, but this will require to know its operating parameters, i.e. the height of the shipper shaft, the distance from the excavator rotation axis to the tail piece of the boom, the minimum digging radius, etc.

**Keywords:** rope shovel, open pit mining, coal losses, digging height, face block, trajectory of the cutting edge of the bucket teeth

**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:** Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyuleneva E.A., Tyulenev M.A. Reduction of coal losses in operation of mining rope shovels. *Russian Mining Industry*. 2022;(6):88–94. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-88-94>

**Введение**

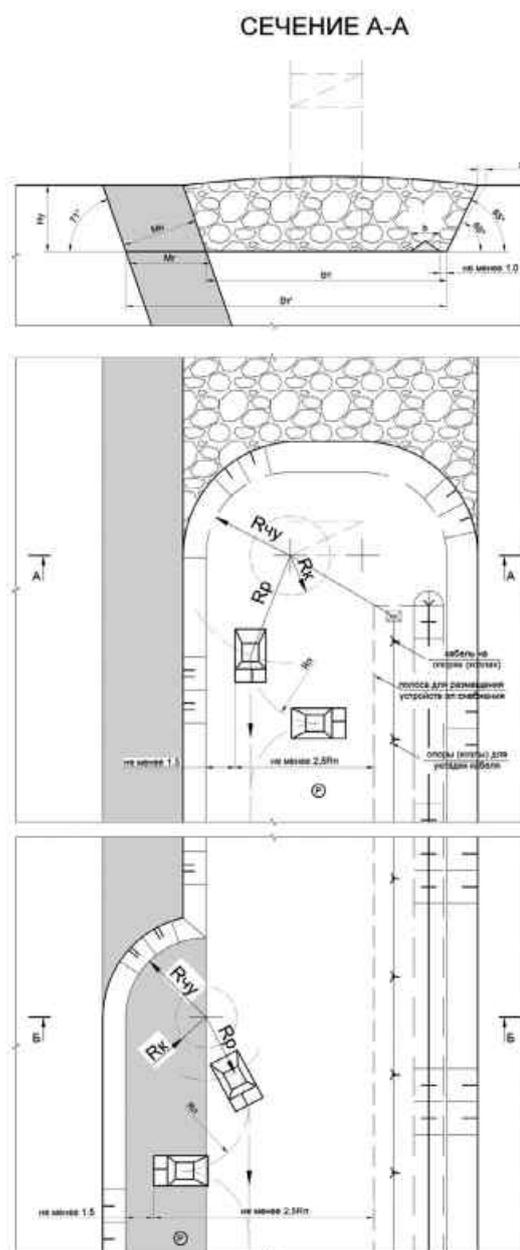
При работе прямых мехлопат на пологих и слабонаклонных пластах (угол падения до 20°) в комплексе с экскаваторами обычно используется бульдозер для сталкивания угля сверху вниз, поскольку мехлопата вследствие своих конструктивных особенностей обрабатывает такие пласты только слоями весьма малой высоты (до 1,5 м) [1–6], что с учетом установки экскаватора непосредственно на угольном пласте приводит к резкому росту потерь угля. В случае же выемки маломощных пластов (2–3 м) потери могут превысить 50%. Однако применение бульдозера в составе выемочного комплекса сразу повышает себестоимость 1 т добытого угля, поэтому для отработки пологих и слабонаклонных пластов практически повсеместно используются гидравлические экскаваторы, в основном это обратные лопаты зарубежного производства [7–15].

Но даже на современных разрезах до сих пор находят применение отечественные устаревшие мехлопаты. Их используют по возможности только на отработке вскрыши, но иногда и на добычных работах (рис. 1), как правило, с погрузкой в автосамосвалы всех марок. Отмечается, что применение мехлопат оказывает более щадящее воздействие на окружающую среду (атмосферу и т.д.) [16–22], чем гидравлических экскаваторов, имеющих, как правило, дизельный привод.

При угле падения пластов выше 20° становится возможным обойтись при выемке без бульдозера, сталкивающего уголь вниз к забою. Но для исключения дополнительных потерь угля необходимо строго выдерживать высоту обрабатываемого слоя для той или иной модели мехлопаты. Также необходимо учитывать ограниченные возможности мехлопаты по сравнению с гидравлическими экскаваторами при погрузке горной массы в автосамосвалы [23; 24].

Отдельно отметим, что в диапазоне углов 15–20° уровень потерь угля в большей степени зависит от угла залегания, а не от мощности пласта. При применении обратных гидравлических лопат в случае зачистки рабочей площадки при отработке каждого слоя уровень потерь может быть даже выше, чем при работе мехлопат. Однако на практике, как правило, каждый слой не зачищается и потери по факту меньше, чем у мехлопат – из-за отсутствия треугольников непрочерпывания, что улучшает экономические [25; 26] показатели работы предприятия.

Рассмотрим метод определения рациональной высоты обрабатываемого слоя, которая определяется исходя из возможностей экскаватора по прочерпыванию.



**Рис. 1**  
Схема проходки разрезной траншеи и отработки крутопадающего угольного пласта механической лопатой ЭКГ-5А с погрузкой в автосамосвал

**Fig. 1**  
A schematic drawing of constructing an initial cut and mining a steeply dipping coal seam with the EKG-5A power shovel with off-loading into a dump truck

Материалы и методы

В разработанном методе учитывается траектория движения режущей кромки зубьев ковша при максимально втянутой и максимально вытянутой рукояти, а также минимальный радиус черпания на уровне установки экскаватора, равный сумме радиуса поворота хвостовой части экскаватора и безопасного зазора между контргрузом и откосом, т.е. 1 м. Схема к применению этого метода для определения высоты обрабатываемого слоя показана на рис. 2 [22].

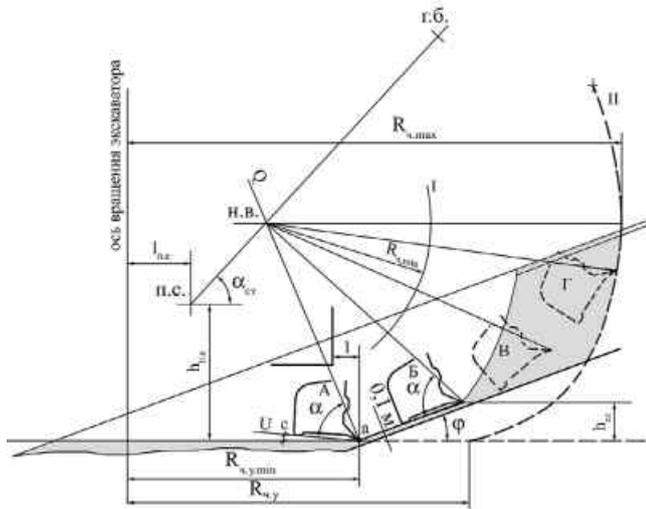


Рис. 2  
Схема к определению длины прямолинейного участка прочерпывания и высоты слоя

Fig. 2  
A schematic drawing to determine the length of the rectilinear section of scooping and the layer height

На схеме приняты обозначения:  $R_{ч.у}$  – максимальный радиус черпания на горизонте установки экскаватора, м;  $R_{ч.у.мин}$  – минимальный радиус черпания на горизонте установки экскаватора, м;  $R_{ч.у.макс}$  – максимальный радиус черпания при максимально выдвинутой рукояти, м;  $H_{ч.макс}$  – максимальная высота черпания, м;  $R_{ч.мин}$  – радиус черпания при максимально втянутой рукояти, м;  $R_к$  – радиус вращения хвостовой части кузова, м; п.с. – ось пяты стрелы; н.в. – ось напорного вала;  $\alpha_{стр}$  – угол наклона стрелы, градус;  $\alpha$  – угол между плоскостью  $Q$ , проходящей через режущие кромки зубьев ковша и ось напорного вала, и плоскостью  $U$ , проходящей через режущие кромки зубьев ковша и переднюю стенку ковша;  $h_{сл}$  – высота слоя линейного прочерпывания, м;  $\phi$  – угол падения пласта, град; 0,1 – толщина пачки угля, оставляемой в почве пласта при ведении добычных работ, м; I и II – траектория движения режущей кромки зубьев ковша при максимально втянутой и максимально вытянутой рукояти соответственно.

Для зачистки угольно-породного контакта на этапе завершения добычных работ мехлопата максимально приближается к почве пласта (на схеме – точка  $a$ , лежащая на пересечении плоскости рабочей площадки и поверхности предохранительной пачки угля). Положение точки  $a$  определяется безопасным положением контргруза экскаватора-мехлопаты. Для удобства построения и расчетов горизонтальное расстояние от контргруза до забоя принято равным 1 м, что совпадает с действующими требованиями федеральных норм и правил безопасности.

Плоскость  $U$ , проходящая через режущие кромки зубьев ковша и переднюю стенку ковша, не параллельна площадке уступа в начальном положении ковша, когда режущая кромка зубьев находится в точке  $a$ . Данная геометрия ковша является следствием необходимости заглубления ковша в массив с минимальным сопротивлением черпанию.

Таким образом, в начале движения ковша имеется зазор с между нижним ребром на его передней стенке и рабочей площадкой (положение А).

Ковш при операции зачистки движется по прямолинейной траектории до тех пор, пока зазор с не уменьшится до нуля, и плоскость черпания полностью не совпадет с передней стенкой ковша (положение ковша Б). Данное движение достигается при одновременном задействовании двигателей подъема и напора. Соотношение скоростей подъема и напора выбирается машинистом экскаватора таким образом, чтобы режущая кромка зубьев ковша двигалась параллельно подошве пласта без уменьшения мощности предохранительной «пачки» угля и без присечки пород подошвы.

Высота прочерпывания пласта, соответствующая положению Б ковша, является максимальной высотой прочерпывания, при которой не образуются дополнительные потери.

Дальнейшее движение режущей кромки зубьев ковша по выбранной прямолинейной траектории невозможно, поскольку в этом случае величина  $s$  станет отрицательной, т.е. нижняя кромка передней стенки ковша должна внедриться сначала в предохранительную «пачку» угля, а затем и в породу почвы угольного пласта.

Таким образом, дальнейшее движение зубьев ковша осуществляется по криволинейной траектории. Такое движение формирует призму недобора.

Длина прямолинейного участка траектории ковша увеличивается с увеличением угла падения пласта, и при углах падения  $70^\circ$  и более максимальная высота прочерпывания пласта без потерь стремится к максимальной высоте черпания экскаватора.

Результаты и обсуждение

Последовательность операций графоаналитического метода следующая.

По схеме, построенной в системе координат с осями  $R$  и  $h$  (рис. 3), определение высоты слоя зачистки (прямолинейного участка траектории) производится следующим образом.

Из точки минимального приближения режущей кромки зубьев ковша к почве пласта (точка  $a$ ) под углом залегания пласта  $\phi$  проводится луч. Другой луч проводится из точки оси напорного вала (точка н.в.) таким образом, чтобы он пересекался с построенным под углом  $\alpha$ .

Координата по оси  $h$  определяет высоту слоя.

При угле падения пласта свыше  $70^\circ$  (в рассматриваемом ниже примере) появляется лимитирующий фактор – точка начала зачистки переходит из  $R_{ч.у.мин}$  в точку  $a1$  (рис. 3).

Для мехлопат ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭКГ-15 произведены расчеты значений высоты слоев, при которой не образуется дополнительных потерь угля (рис. 4–8).

На примере ЭКГ-5А рассмотрим этот метод подробнее (рис. 9).

Из точки  $a$  (минимальный радиус черпания) под углом падения пласта (в примере –  $30^\circ$ ) проводится луч 1. Из точки, отображающей положение оси напорного вала («н.в.»), под углом  $\alpha$  к лучу 1 проводится луч 2. Графическим путем

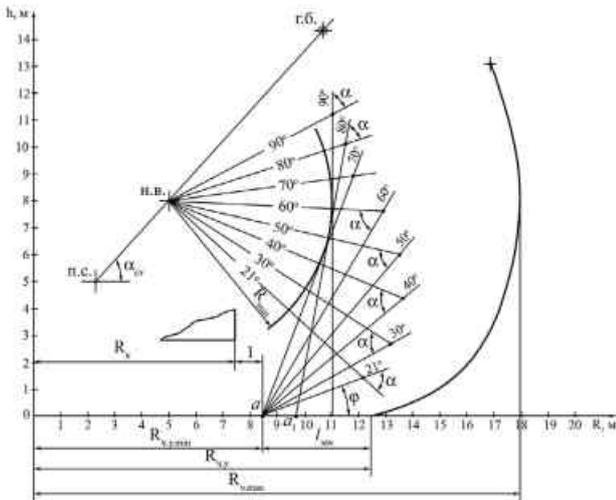


Рис. 3  
Расчетная схема для определения высоты слоев прочерпывания без дополнительных потерь угля

Fig. 3  
A schematic drawing to calculate the height of the scooping layer that prevent additional coal losses

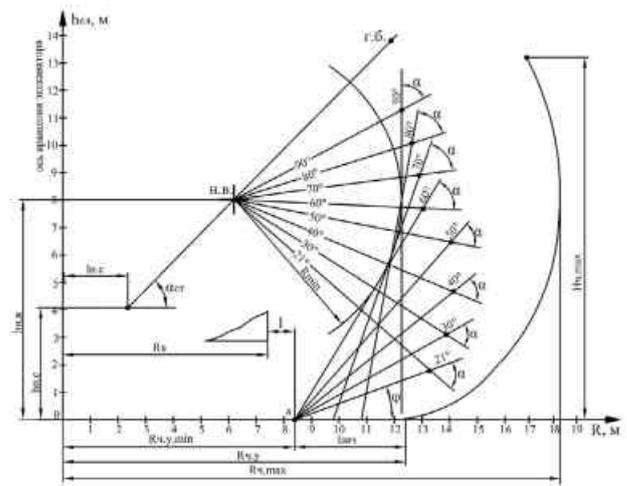


Рис. 6  
Определение параметров прочерпывания для экскаватора ЭКГ-10

Fig. 6  
Definition of scooping parameters for the EKG-10 face shovel

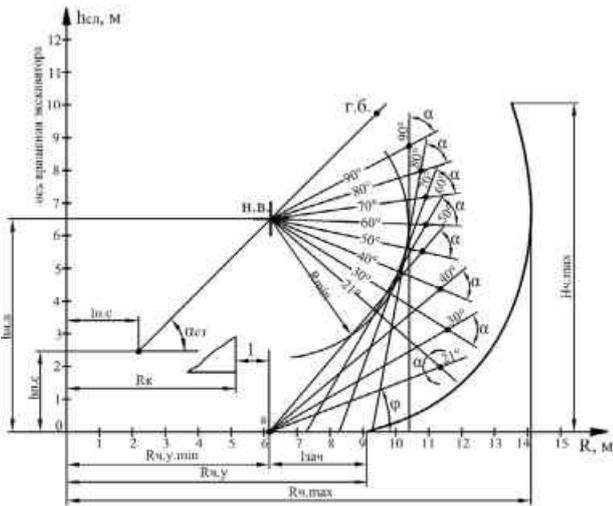


Рис. 4  
Определение параметров прочерпывания для экскаватора ЭКГ-5А

Fig. 4  
Definition of scooping parameters for the EKG-5A face shovel

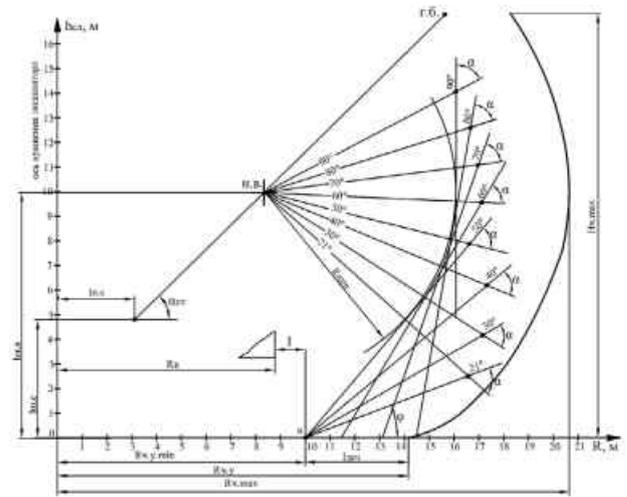


Рис. 7  
Определение параметров прочерпывания для экскаватора ЭКГ-12,5

Fig. 7  
Definition of scooping parameters for the EKG-12.5 face shovel

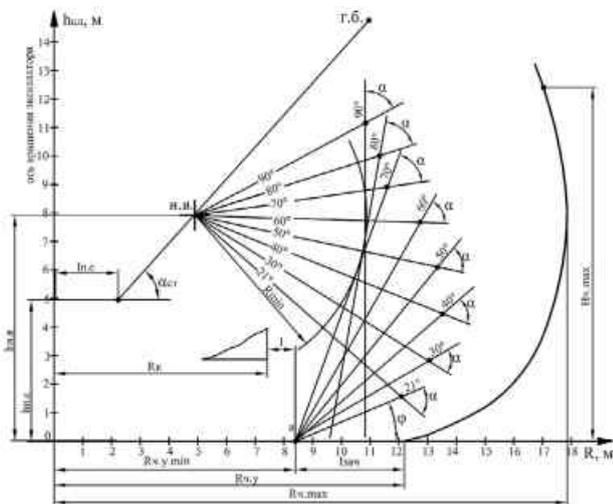


Рис. 5  
Определение параметров прочерпывания для экскаватора ЭКГ-8И

Fig. 5  
Definition of scooping parameters for the EKG-8i face shovel

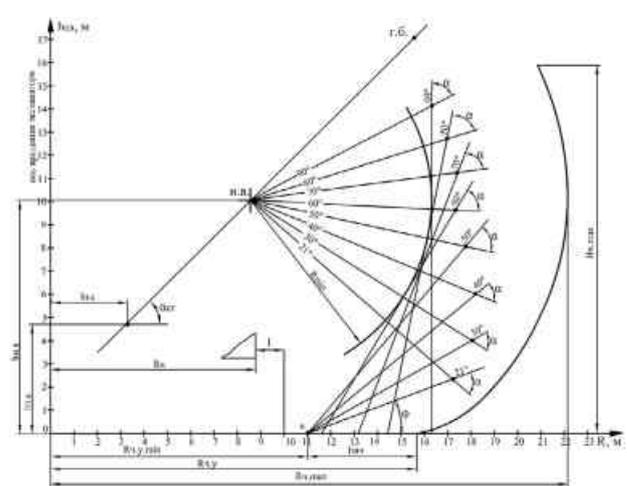


Рис. 8  
Определение параметров прочерпывания для экскаватора ЭКГ-15

Fig. 8  
Definition of scooping parameters for the EKG-15 face shovel

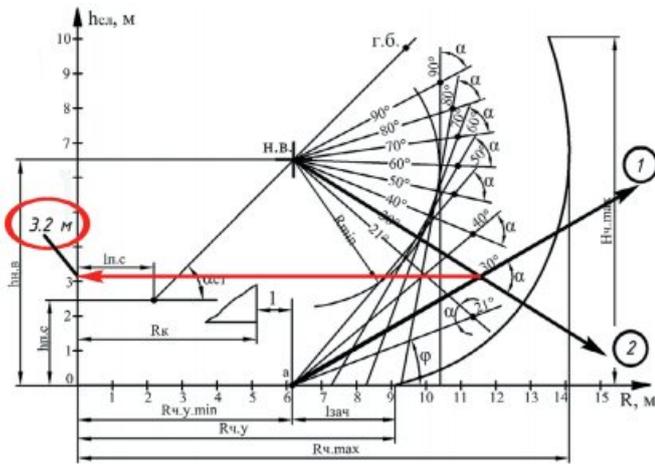


Рис. 9  
Порядок определения высоты  
прочерпывания

Fig. 9  
The order of determining the  
scooping height

установлено, что для ковша ЭКГ-5А угол  $\alpha$  равен  $63^\circ$ . Из полученной точки пересечения этих лучей определяем координату по оси  $h - 3,2$  м.

В такой же последовательности вычисляются высоты прочерпывания и для всех требуемых условий. Результаты расчетов для пяти наиболее распространенных мехлопат отечественного производства сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Значения высоты слоев  
(прочерпывания)

Table 1  
Values of the layer (scooping)  
heights

Модель мехлопаты	Модель мехлопаты							
	21	30	40	50	60	70	80	90
ЭКГ-5А	2,0	3,2	4,5	5,6	6,5	7,3	8,2	10,1
ЭКГ-8И	1,5	2,7	4,4	6,1	7,7	9,0	10,1	11,2
ЭКГ-10	1,8	3,1	4,8	6,6	7,8	9,1	10,2	11,5
ЭКГ-12,5	2,7	4,4	6,4	8,1	9,4	11,4	13,0	14,5
ЭКГ-15	2,5	4,25	6,3	8,4	10,0	11,6	13,2	14,6

На основе расчетных значений табл. 1 построено семейство кривых (рис. 10) для определения высоты слоя прочерпывания вышеуказанных экскаваторов.

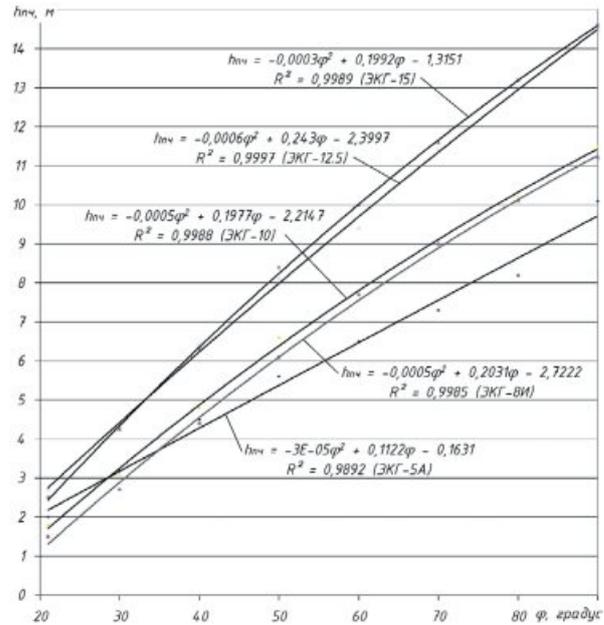


Рис. 10  
Зависимость высоты слоев  
прочерпывания  $h_{\min}$  от угла  
падения пласта  $\varphi$  для  
различных моделей мехлопат

Fig. 9  
ndence of the scooping height  
( $h_{\min}$ ) on the seam dip angle ( $\varphi$ )  
for different models of rope  
shovels

**Выводы**

Предлагаемый метод расчета позволяет определить высоту разрабатываемого мехлопатами слоя, при которой не будет образовано дополнительных потерь угля.

Необходимо учитывать, что в любом случае использование на добычных работах прямых и обратных гидравлических лопат будет предпочтительнее с точки зрения снижения уровня потерь и повышения производительности.

Различия в геометрических параметрах взаимного расположения элементов, задействованных в описанном методе, не позволяют сформировать единую зависимость высоты отрабатываемого слоя от влияющих факторов. Но данный метод может быть применен при определении высоты слоя для любой модели мехлопаты, однако для этого необходимо знать ее рабочие параметры: высоту напорного вала, расстояние от оси вращения экскаватора до оси пяты стрелы, минимальный радиус черпания и т.д.

**Список литературы**

- Колесников В.Ф., Цехлар М., Тюленева Е.А. Обзор ведения выемочно-погрузочных работ при отработке угленасыщенных зон разрезов Кузбасса. *Техника и технология горного дела*. 2018;2(2):36–49. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2018-2-36-49>
- Макридин Е.В., Тюленев М.А., Марков С.О., Лесин Ю.В., Мурко Е.В. Использование вскрышных пород для повышения экологической безопасности угледобывающего региона. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(12):89–102. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102>
- Мильев С.М. Оценка технологий отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса. *Техника и технология горного дела*. 2020;(1):45–73. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73>
- Kolesnikov V., Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020;2(9):42–74. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-2-42-74>
- Özdoğan M., Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study. *Scientific Mining Journal*. 2019;58(1):73–79. <https://doi.org/10.30797/madencilik.537648>
- Strelnikov A., Markov S., Rattmann L., Weber D. Theoretical features of rope shovels and hydraulic backhoes using at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2018;41:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101003>
- Hrehová D., Cehlár M., Rybár R., Mitterpachová N. Mining technology with drilling-blasting operations. In: *12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO – Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2012*, 1, 675–682.

8. 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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501024>
9. Bumo-Motswaiso K., Suglo R.S. Economic evaluation of materials handling systems in a deep open pit mine. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;13(1):37–48. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2022.10048883>
10. Keropyan A.M., Kuziev D.A., Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines Traction. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham; 2020, pp. 703–709. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_75)
11. Bosikov I., Klyuev R., Tavasiev V., Gobeev M. Influence of transport and road complex on the natural-technical system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;918(1):012223. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/918/1/012223>
12. Mitrev R., Janošević D., Marinković D. Dinamičko modeliranje hidrauličnog bagera kao sustava sastavljenog od više tijela. *Tehnički vjesnik*. 2017;24(Suppl. 2):327–338. <https://doi.org/10.17559/TV-20151215150306>
13. Hödaverdi T., Akyildiz O. Investigation of blast fragmentation models in a sandstone quarry. *Scientific Mining Journal*. 2020;59(3):145–156. <https://doi.org/10.30797/madencilik.792386>
14. Ключев Р.В., Босиков И.И., Юн Р.Б. Анализ функционирования природно-промышленной системы горно-металлургического комплекса с помощью показателя сложности геологического строения месторождения. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2016;8(3):222–230. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-3-222-230>
15. 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. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1100318>
16. Kiseleva T.V., Mikhailov V.G., Mikhailov G.S. Contemporary trends in improvement of organizational-economic mechanism of environmental management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;84(1):012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012044>
17. Ključnikov A., Civelek M., Krajčák V., Ondrejmišková I. Innovative regional development of the structurally disadvantaged industrial region by the means of the local currency. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020;25(2):224–235. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i2.9>
18. Cehlár, M., Janočko, J., Šimková, Z., Pavlik, T. Assessment process of concept for mining and its impact on the region. *E3S Web of Conferences*. 2017;15:01019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171501019>
19. Bettens S.P., Siegrist P.M., McAree P.R. How do operators and environment conditions influence the productivity of a large mining excavator? *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;13(1):18–36. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2022.10048881>
20. Volkova O.I., Zolotukhina N.A., Zolotukhin V.M., Yazevich M.Y. Influence of water treatment plants on the ecological situation in industrialized regions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;543(1):012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/543/1/012012>
21. Ulewicz R., Krstić B., Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022;27(2):291–305. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i2.02>
22. Tyulenev M.A., Zhironkin S.A., Garina E.A. The method of coal losses reducing at mining by shovels. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2016;7(4):363–370. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2016.079990>
23. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(3):31–49. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49>
24. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов. *Горное оборудование и электромеханика*. 2022;(2):39–50. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-2-39-50>
25. Tyuleneva T. The Prospects of accounting at mining enterprises as a factor of ensuring their sustainable development. *E3S Web of Conferences*. 2017;21:04009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172104009>
26. Nieto A., Muncher B. An applied economic assessment and value maximisation of a mining operation based on an iterative cut-off grade optimisation algorithm. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;12(4):309–326. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2021.121330>

## References

1. Kolesnikov V., Cehlár M., Tyuleneva E. Overview of excavation and loading operations in the coal-bearing zones at Kuzbass open pit mines. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2018;2(2):36–49. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2018-2-36-49>
2. Makridin E.V., Tyulenev M.A., Markov S.O., Lesin Yu.V., Murko E.V. Overburden management towards higher safety in coal mining regions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(12):89–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102>
3. Miliy S.M. Evaluation of technology for development of inclined and steep coal deposits in Kuzbass. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020;(1):45–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73>
4. Kolesnikov V., Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020;2(9):42–74. <https://doi.org/10.26730/2618-7434-2020-2-42-74>
5. Özdoğan M., Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study. *Scientific Mining Journal*. 2019;58(1):73–79. <https://doi.org/10.30797/madencilik.537648>
6. Strelnikov A., Markov S., Rattmann L., Weber D. Theoretical features of rope shovels and hydraulic backhoes using at open pit mines. *E3S Web of Conferences*. 2018;41:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101003>
7. Hrehová D., Cehlár M., Rybár R., Mitterpachová N. Mining technology with drilling-blasting operations. In: *12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO – Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection*, SGEM 2012, 1, 675–682.
8. 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. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501024>
9. Bumo-Motswaiso K., Suglo R.S. Economic evaluation of materials handling systems in a deep open pit mine. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;13(1):37–48. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2022.10048883>
10. Keropyan A.M., Kuziev D.A., Krivenko A.E. Process Research of Wheel-Rail Mining Machines Traction. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham; 2020, pp. 703–709. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_75)
11. Bosikov I., Klyuev R., Tavasiev V., Gobeev M. Influence of transport and road complex on the natural-technical system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;918(1):012223. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/918/1/012223>

12. Mitrev R., Janošević D., Marinković D. Dinamičko modeliranje hidrauličnog bagera kao sustava sastavljenog od više tijela. *Tehnički vjesnik*. 2017;24(Suppl. 2):327–338. <https://doi.org/10.17559/TV-20151215150306>
13. Hödaverdi T., Akyildiz O. Investigation of blast fragmentation models in a sandstone quarry. *Scientific Mining Journal*. 2020;59(3):145–156. <https://doi.org/10.30797/madencilik.792386>
14. Kluyev R.V., Bosikov I.I., Youn R.B. Analysis of the functioning of the natural-industrial system of mining and metallurgical complex with the complexity of the geological structure of the deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016;8(3):222–230. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-3-222-230>
15. 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. <https://doi.org/10.1631/jzus.A1100318>
16. Kiseleva T.V., Mikhailov V.G., Mikhailov G.S. Contemporary trends in improvement of organizational-economic mechanism of environmental management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017;84(1):012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012044>
17. Ključnikov A., Civelek M., Krajčák V., Ondrejmišková I. Innovative regional development of the structurally disadvantaged industrial region by the means of the local currency. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020;25(2):224–235. <https://doi.org/10.46544/AMS.v25i2.9>
18. Cehlár, M., Janočko, J., Šimková, Z., Pavlik, T. Assessment process of concept for mining and its impact on the region. *E3S Web of Conferences*. 2017;15:01019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171501019>
19. Bettens S.P., Siegrist P.M., McAree P.R. How do operators and environment conditions influence the productivity of a large mining excavator? *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;13(1):18–36. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2022.10048881>
20. Volkova O.I., Zolotukhina N.A., Zolotukhin V.M., Yazevich M.Y. Influence of water treatment plants on the ecological situation in industrialized regions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;543(1):012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/543/1/012012>
21. Ulewicz R., Krstić B., Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022;27(2):291–305. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i2.02>
22. Tyulenev M.A., Zhironkin S.A., Garina E.A. The method of coal losses reducing at mining by shovels. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2016;7(4):363–370. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2016.079990>
23. Dubinkin D.M. Method of determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) career self-dump. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(3):31–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49>
24. Dubinkin D.M. Justification of the need to create heavy platforms for open-pit mining. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;(2):39–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-2-39-50>
25. Tyuleneva T. The Prospects of accounting at mining enterprises as a factor of ensuring their sustainable development. *E3S Web of Conferences*. 2017;21:04009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172104009>
26. Nieto A., Muncher B. An applied economic assessment and value maximisation of a mining operation based on an iterative cut-off grade optimisation algorithm. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2022;12(4):309–326. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2021.121330>

**Информация об авторах**

**Хорешок Алексей Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3261-0933>

**Дубинкин Дмитрий Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-8193-9794>; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Марков Сергей Олегович** – кандидат технических наук, доцент, доцент инженерно-экономической кафедры, филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Междуреченске, г. Междуреченск, Российская Федерация

**Тюленева Екатерина Александровна** – руководитель группы отдела открытых горных работ, Прокопьевский горно-проектный институт, г. Кемерово, Российская Федерация

**Тюленев Максим Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 01.11.2022

Поступила после рецензирования: 16.11.2022

Принята к публикации: 19.11.2022

**Information about the authors**

**Alexey A. Khoreshok** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of Mining Institute, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3261-0933>

**Dmitry M. Dubinkin** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-8193-9794>; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Sergei O. Markov** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Engineering and Economic Department, Mezhdurechensk Branch of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, Russian Federation

**Ekaterina A. Tyuleneva** – Team leader of the open-pit mining department, Prokopyevsk Mining and Design Institute, Kemerovo, Russian Federation

**Maxim A. Tyulenev** – Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Department of Open Pit Mining, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

**Article info**

Received: 01.11.2022

Revised: 16.11.2022

Accepted: 19.11.2022