

ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ВЫЕМКИ НАКЛОННЫХ И КРУТЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ОБРАТНЫМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЛОПАТАМИ

А.В. Кацубин^{1,2}, А.А. Хорешок¹, М.А. Тюленев¹, С.О. Марков¹

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ),
Кемерово, Россия, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

² АО «СУЭК-Кузбасс», Ленинск-Кузнецкий, Россия

Аннотация: Цель внедрения опережающей технологии заключается в том, чтобы при ее применении максимально полно использовались технологические возможности экскаваторов различных типов — мехлопат и обратных гидролопат. Также эта технология получила наименование «преобразование угленасыщенной зоны в безугольную путем послонной отработки породугольных блоков». Обычно на предприятиях по добыче угля открытым способом вместимость ковша выемочно-погрузочного оборудования варьируется в широких пределах. Если же брать в расчет тот или иной тип оборудования, то по вместимости ковша наиболее разнообразны обратные гидролопаты, имеющие к тому же возможность замены ковша (базовая модель может иметь до пяти вариантов комбинации длины рукояти и вместимости ковша). Мехлопаты такой возможности лишены. Поэтому необходимо определить модель гидравлического экскаватора, планируемого к использованию на добычных работах, поскольку мехлопатам отводится подчиненная роль — отработка вскрышных уступов в безугольной зоне. Для этого в данной статье рассмотрены методические положения выбора модели обратной гидравлической лопаты для предварительной послонной выемки угольных пластов в блоках, а также выполнено моделирование преобразования породугольных блоков в безугольные. Сделан предварительный вывод о том, что длина годовой подготавливаемой длины фронта работ по добыче угля возрастает по квадратичной зависимости с увеличением угла залегания пластов.

Ключевые слова: Открытые горные работы, угленасыщенная зона, безугольная зона, обратные гидролопаты, прямые мехлопаты, опережающая выемка, породугольные панели, сложноструктурные месторождения.

Для цитирования: Кацубин А. В., Хорешок А. А., Тюленев М. А., Марков С. О. Технология опережающей выемки наклонных и крутых угольных пластов обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11. – С. 27–36. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.

Technology of advance cutting of sloping and steeply pitching coal seams using hydraulic backhoe excavators

A.V. Katsubin^{1,2}, A.A. Khoreshok¹, M.A. Tyulenev¹, S.O. Markov¹

¹ T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

² SUEK-Kuzbass JSC, Leninsk-Kuznetskiy, Russia

Abstract: The advance cutting technology aims to maximize beneficial use of technological capability of different type excavating machines—power shovels and hydraulic backhoes. This technology is named as conversion of a coal zone into a no coal zone by means of layer-by-layer cutting of coal-and-rock blocks. Bucket capacities of cutting and loading equipment employed in open pit mines vary in wide ranges. In terms of a certain type of cutting machines, hydraulic backhoe excavators offer a variety of bucket capacities and, furthermore, replaceability of the bucket (the generic model of excavator can have up to 5 alternative combinations of the arm length and bucket capacity). Power shovels lack such an option. Thus, it is necessary to select a hydraulic backhoe model to be used in actual mining as power shovels are assigned a subordinate part of stripping in the no coal zone. This article reviews some guidelines on selection of a hydraulic backhoe excavator model for preliminary layer-by-layer cutting of coal and performs modeling of coal-and-rock block conversion to no coal blocks. The tentative conclusion states that the length of the coal mining front obeys the quadratic relation with the dip angle of coal seams.

Key words: open pit mining, coal zone, no coal zone, hydraulic backhoe excavators, face power shovels, advance mining, coal-and rock blocks, structurally complex deposits.

For citation: Katsubin A. V., Khoreshok A. A., Tyulenev M. A., Markov S. O. Technology of advance cutting of sloping and steeply pitching coal seams using hydraulic backhoe excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11):27-36. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.

Введение

Изучение фактических (натурных) данных о работе экскаваторов того или иного вида (механическая или гидравлическая лопата) позволяет сделать предварительный вывод об их преобладающей работе.

Для обратных гидролопат наиболее частое применение — разработка сложных породугольных блоков, выемка угольных пластов малой и средней мощности, выемка пластов сложного строения [1—11].

Для мехлопат основной вид работы — разработка породных заходок, проходка траншей по наносам и взорванным скальным и полускальным породам [12—15]. Также встречаются случаи их использования на обработке мощных угольных пластов, преимущественно крутого залегания [16—21].

Для прямых гидролопат (наименее распространенный тип выемочного оборудования в Кузбассе) основной вид работы — обработка мощных породных

междупластий [22], реже — выемка наносов, при малой вместимости ковша — добычные работы.

Изучение работ зарубежных ученых [23—28] подтверждает вышеприведенные положения.

Применение мехлопат в безугольных зонах, по сути, не имеет каких-либо ограничений, кроме обеспечения соответствия параметров экскаватора параметрам обрабатываемого уступа (высота черпания экскаватора должна коррелировать по известным зависимостям с высотой обрабатываемого уступа). Если принять это ограничение как данное по умолчанию, то в остальном мехлопаты могут работать в любых условиях.

Методы

При предварительной выемке угольных пластов на блоке обратной гидролопаты выполняются следующие работы:

- выемка породы разрезных траншей по длине блока;

- выемка породы междупластий при близком расположении смежных пластов;

- выемка угольных пластов.

Для выполнения требуемого объема горной массы по предварительной выемке угольных пластов обратная гидравлическая лопата должна быть оснащена ковшом с вместимостью, обеспечивающей сменную производительность $Q_{см}^{ср.вз}$.

Принципиальное положение технологии предварительной выемки пластов приведено на рис. 1, методические положения выбора модели выемочно-погрузочного оборудования – на рис. 2.

Необходимая средневзвешенная сменная производительность обратной гидравлической лопаты:

$$Q_{см}^{ср.вз} = V_{гм} / N_{см.г}$$

где $V_{гм}$ – объем горной массы, выполняемый за год при предварительной выемке пластов с условием выполнения годовой программы по добыче, m^3 ; $N_{см.г}$ – число рабочих смен обратной гидравлической лопаты в год.

Годовой объем горной массы представляет собой сумму:

$$V_{гм} = \Sigma V_n + V_y + V_{\Delta y}$$

где ΣV_n – объем отработываемой породы для обеспечения выемки пласта

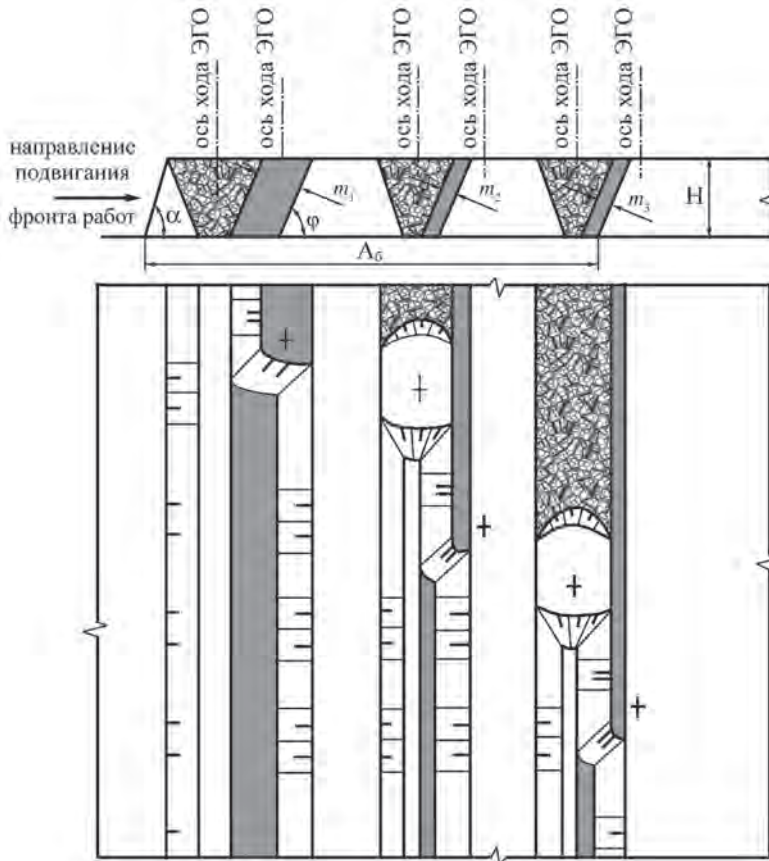


Рис. 1. Принципиальное положение технологии разработки угленасыщенной зоны широкими блоками с предварительной выемкой угольных пластов

Fig. 1. Technological layout of coal zone cutting by wide blocks with preliminary extraction of coal seams

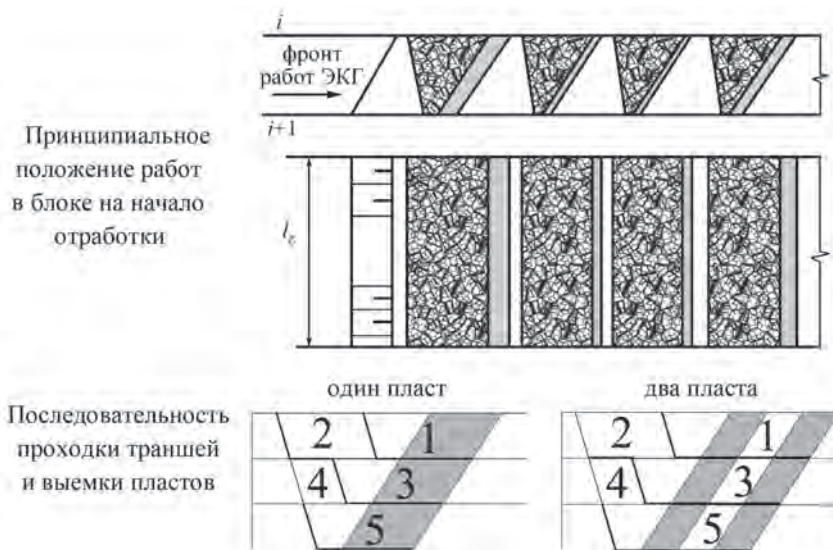


Рис. 2. Методические положения выбора модели обратной гидравлической лопаты для предварительной послойной выемки угольных пластов в блоках

Fig. 2. Guidelines to select a hydraulic backhoe model for preliminary layer-by-layer cutting of coal in blocks

при создании разрезных траншей, m^3 ; V — годовой объем добываемого угля, m^3 ; $V_{\Delta y}$ — объем потерянного угля при добыче, m^3 .

Суммарная длина разрезных траншей для обеспечения выемки годового объема угля зависит от годовой производственной мощности разреза или участка, высоты основного уступа (мехлопаты), суммарной мощности пластов (Σm) и угла залегания пластов:

$$\sum l_g = \frac{A_z \cdot \sin \varphi}{\gamma_y \cdot H_y \cdot \sum m_z} \cdot$$

При подсчете породных объемов возникает вопрос: проходить над угольным

пластом только разрезную траншею или полностью разрабатывать междупластье. Для решения этого вопроса было использовано понятие критерия сближенности смежных пластов, впервые предложенного в [4].

Суть понятия сближенности пластов состоит в следующем. Сближенными считаются угольные пласты наклонного и крутого залегания, когда выемка одного из них сопряжена с технологическим воздействием на смежный пласт (рис. 3). Если это не происходит, то пласты считаются рассредоточенными.

Критерием оценки считается минимальная мощность междупластья, при

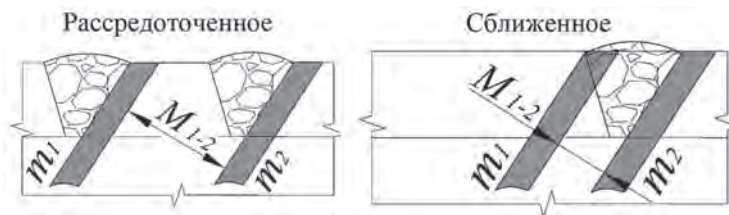


Рис. 3. Виды залегания пластов в блоке

Fig. 3. Types of coal occurrence in block

Значения критерия сближенности M_{min}^{c6}
Close-spaced occurrence criterion M_{min}^{close}

Высота уступа H_y , м	Угол залегания пластов φ , град.					
	20	30	40	50	60	70
10,0	11,668	11,98	11,928	11,514	10,75	9,659
12,0	13,796	14,076	13,928	13,357	12,381	11,028
15,0	16,989	17,22	16,928	16,122	14,826	13,08

значении которого возможна проходка разрезной траншеи без нарушения смежного (верхнего) пласта. Рассчитанные значения критериев для высот основных уступов составляют 10–17 м (см. таблицу).

Для высот уступов 10–15 м, имеющих место на разрезах центрального Кузбасса, по принятому критерию смежные пласты с мощностью междупластья менее 10–17 м являются сближенными. По этому критерию в породугольных блоках, образуемых в процессе развития горных работ в угленасыщенной зоне, выделены три группы взаимного положения пластов: рассредоточенное, сближенное и смешанное [29].

Для этих групп разработана модель преобразования породугольных блоков в безугольные. Модель включает:

- расчет длины добычного фронта и расчет породных объемов;
- необходимую средневзвешенную сменную производительность обратной гидравлической лопаты.

Моделирование преобразования породугольных блоков в безугольные

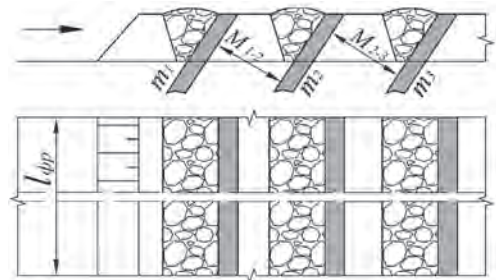
1. Исходные параметры: A_r , т/год; H_y , м; Σm , м; φ , град.; α_n , град.; b_{mp} , м.

2. Расчетные параметры: горизонтальная мощность пластов: $\Sigma m_f = \Sigma m / \sin \varphi$, м; годовой объем угля: $V_y = A_r / \gamma_y$, м³; длина добычного фронта:

$$l_{\phi p} = \frac{V_y}{H_y \cdot \sum m_e \cdot \gamma_y}, \text{ м.}$$

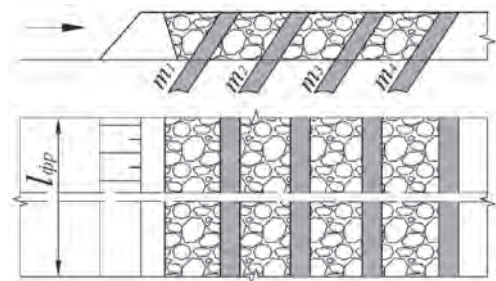
Схема модели и формулы расчета породных объемов

- Схема модели и формулы расчета породных объемов: рассредоточенные пласты



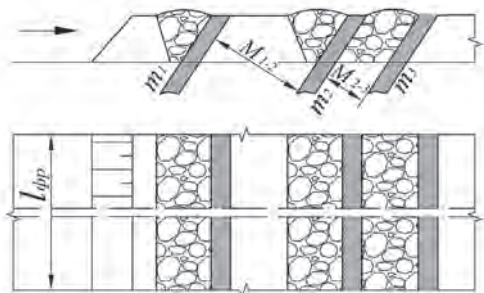
$$\sum V_{n.pacc} = 0,5 \cdot H_y \cdot l_{\phi p} \times \\ \times [2 \cdot b_{mp} + H_y (ctg \alpha_n + ctg \varphi)]$$

- Схема модели и формулы расчета породных объемов: сближенные пласты



$$\sum V_{n.c6} = H_y \cdot l_{\phi p} \cdot \\ \cdot \left[b_{mp} + \frac{H_y (ctg \alpha_n + ctg \varphi)}{2} \right] + \\ + \left\{ \sum_1^{i=n-1} \frac{M_{(i-1)}}{\sin \varphi} \right\}$$

- Схема модели и формулы расчета породных объемов: смешанное залегание пластов



Число пластов — n ; число рассредоточенных пластов — n_p ; число сближенных пластов — $n_{сб} = n - n_{расс}$; число групп сближенных пластов — $n_{гр.сб}$; число разрезных траншей — $N_{тр} = n_{расс} + n_{гр.сб}$.

Объем породы траншей $\Sigma V_{п.тр}$:

$$\Sigma V_{п.тр} = H_y \cdot l_{тр} \cdot [b_{мп} + 0,5 \cdot H_y (ctg \alpha_n + ctg \varphi)]$$

объем породы междупластий $\Sigma V_{п.мж}$:

$$\Sigma V_{п.мж} = H_y \cdot (l_{фр} - l_{мп}) \cdot \sum \frac{M_{i-1}}{\sin \varphi}$$

длина траншей ($l_{тр}$):

$$l_{тр} = l_{фр} \cdot \frac{n_{расс} + n_{гр.сб}}{n}$$

Всего объем породы:

$$\Sigma V_n = \Sigma V_{п.тр} + \Sigma V_{п.мж}$$

Показатели:

$$V_{ГМ} = \Sigma V_n + A_{Г} / \gamma_y ;$$

$$Q_{см.ср.вз}^{необх} = V_{ГМ} / N_{см.г}$$

Ограничения:

$$A_{Г} = 0,25 \div 2,5 \text{ млн т/год};$$

$$H_y = 15 \text{ м}; \Sigma m = 2 \div 16 \text{ м};$$

$$\varphi = 20 \div 70^\circ; \alpha_n = 70^\circ; b_{тр} = 3 \text{ м};$$

$$M_{мин}^{сб} = f(H_y; \varphi; b_{тр})$$

Выводы

По результатам выполненных расчетов установлено, что для любых групп взаимного положения пластов длина годовой подготавливаемой длины фронта работ по добыче угля возрастает по квадратичной зависимости с увеличением угла залегания пластов. Это объясняется уменьшением вскрываемых запасов угля с увеличением угла залегания пластов при одной и той же мощности пласта. Выполняемый объем вскрышной породы снижается по квадратичной зависимости с увеличением угла залегания пластов, что объясняется уменьшением объема разрезных траншей с увеличением угла залегания пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодняков Г. А., Логинов Е. В., Туан В. Д. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 1. — С. 357–363.
2. Анистратов К. Ю. Мировые тенденции развития структуры парка карьерной техники // Горная промышленность. — 2011. — № 6(100). — С. 22–26.
3. Штейнцвайг Р. М. Методика выбора рациональной технологии отработки забоя карьерным гидравлическим экскаватором. — М.: ИГД, 1979. — 28 с.
4. Колесников В. Ф., Корякин А. И., Селюков А. В., Проноза В. Г., Ермолаев В. А., Воронков В. Ф. Разработка угленасыщенных зон карьерных полей выемочно-транспортным комплексом: монография. — Кемерово, 2010. — 247 с.
5. Мельников Н. Н., Неволин Д. Г., Скобелев Л. С. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов. — Апатиты: КНЦ РАН, 1992. — С. 77–86.

6. Кулешов А. А. Анализ тенденций в развитии параметров и конструкций карьерных гидравлических экскаваторов / Проектирование предприятий горнорудной промышленности. — М., 1985. — С. 19–29.

7. Tyuleneva E. A., Lesin Yu. V., Litvin Ya. O. Research of the coal-bearing zones' mining technology at Kuzbass open pits using simple and complex faces // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. — 2019. — № 1. — Pp. 35–49. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.

8. Мерзляков В. Г., Слесарев Б. В., Штейнцвайг В. М. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России // Горное оборудование и электромеханика. — 2013. — № 5. — С. 15–20.

9. Strelnikov A. V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. — 2019. — № 3. — Pp. 4–20. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.

10. Strelnikov A. V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. — 2019. — № 4. — Pp. 4–29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

11. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article № 01027.

12. Подэрни Р. Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 2. — С. 148–167.

13. Сытенков В. Н., Ганин А. Р., Донченко Т. В., Шибанов Д. А. Анализ областей применения канатных и гидравлических экскаваторов при открытой разработке месторождений // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 3. — С. 30–37.

14. Анистратов К. Ю. Карьерные экскаваторы — гидравлика или канат? // Уголь. — 2010. — № 6. — С. 31–35.

15. Кацубин А. В., Федотов А. А. Систематизация горно-геологических условий угленасыщенных и безугольных зон разрезов Кузбасса // Техника и технология горного дела. — 2019. — № 3(6). — С. 60–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.

16. Tyulenev M., Litvin O., Cehlar M., Zhironkin S., Gasanov M. Estimation of hydraulic backhoes productivity for overburden removing at Kuzbass Open Pits // Acta Montanistica Slovaca. 2017. Vol. 22. No 3. Pp. 296–302.

17. Dubinkin D. M., Sadovets V. Yu., Kotiev G. O., Kartashov A. V. Overburden and coal transportation research at open pit mines // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2019. No 4. Pp. 50–66. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-50-66.

18. Шестаков И. Г., Косых С. В. Использование гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» в сложных горно-геологических условиях // Вологодские чтения. — 2012. — № 80. — С. 168–170.

19. Мильный С. М. Оценка технологии отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. — 2020. — № 1(8). — С. 45–73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.

20. 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. Vol. 105. Article 01024.

21. 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. Vol. 41. Article 01003.

22. Литвин О. И. Обоснование рациональных технологических параметров производства вскрышных работ обратными гидравлическими лопатами на разрезах Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово, 2012. — 119 с.

23. Frimpong S., Hu Y., Awuah-Offei K. Mechanics of cable shovel-formation interactions in surface mining excavations // *Journal of Terramechanics*. 2005. Vol. 42. No 1. Pp. 15 – 33.
24. Bhaveshkumar P.P., Prajapati J.M. Kinematics of mini hydraulic backhoe excavator // *International Journal of Mechanisms and Robotic Systems*. 2013. Vol. 1. No 4. Pp. 261 – 282.
25. Conigliaro R.A., Kerzhner A.A. and Paredis C.J.J. Model-based optimisation of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory // *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009. Vol. 2. No 1. Pp. 298 – 308. DOI: 10.4271/2009-01-0565.
26. Moore R., Paredis C.J.J. Variable fidelity modeling as applied to trajectory optimization for a hydraulic backhoe // *Proceedings of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. August 30 – September 2, 2009. San Diego. 2010. Vol. 5. Pp. 79 – 90. DOI: 10.1115/DETC2009-87522.
27. Zhang J.-R. Wang A.-L., Song S.-T., Cui D.-M. An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators // *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*. 2011. Vol. 2. Article 007. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3193.2011.02.007.
28. Nam B.X., Drebenstedt C. Use of hydraulic backhoe excavator in surface mining // *International Conference on Innovative Entwicklung und Konzepte in der Tagebautechnik*. Freiberg, TU Bergakademie. 2009. Pp. 175 – 189.
29. Стрельников А. В. Обоснование структур слоевых технологических схем разработки угленасыщенных зон разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами: дис. ... канд. техн. наук. — Кемерово, 2012. — 152 с. **МИАБ**

REFERENCES

1. Kholodnyakov G.A., Loginov E.V., Tuan V.D. Low waste open-pit mining with hydraulic excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 1, pp. 357 – 363. [In Russ].
2. Anistratov K.Yu. Global trends in the structure of the mining machinery park. *Russian Mining Industry*. 2011, no 6(100), pp. 22 – 26. [In Russ].
3. Shteyntsayg R.M. *Metodika vybora ratsional'noy tekhnologii otrabotki zaboya kar'ernym gidravlicheskim ekskavatorom* [Methods of selecting a rational technology of face mining with a hydraulic excavator], Moscow, IGD, 1979, 28 p.
4. Kolesnikov V.F., Koryakin A.I., Selyukov A.V., Pronoza V.G., Ermolaev V.A., Voronkov V.F. *Razrabotka uglenasyshchennykh zon kar'ernykh poley vyemochno-transportnym kompleksom: monografiya* [Mining of the coal-bearing zones of the quarry fields by the excavating and transport complex: monograph], Kemerovo, 2010, 247 p.
5. Mel'nikov N.N., Nevolin D.G., Skobelev L.S. *Tekhnologiya primeneniya i parametry kar'ernykh gidravlicheskiy ekskavatorov* [Technology of using and parameters of quarry hydraulic excavators], Apatity, KNTs RAN, 1992, pp. 77 – 86.
6. Kuleshov A.A. Analysis of trends in development of parameters and constructions of quarry hydraulic excavators. *Proektirovanie predpriyatiy gornorudnoy promyshlennosti* [Design of mining enterprises], Moscow, 1985, pp. 19 – 29.
7. Tyuleneva E.A., Lesin Yu.V., Litvin Ya.O. Research of the coal-bearing zones' mining technology at Kuzbass open pits using simple and complex faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 1, pp. 35 – 49. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
8. Merzlyakov V.G., Slesarev B.V., Shteyntsayg V.M. Komatsu Mining Germany's experience of using hydraulic excavators in quarries in Russia. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2013, no 5, pp. 15 – 20. [In Russ].
9. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 3. Pp. 4 – 20. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
10. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 4. Pp. 4 – 29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

11. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. Selection of Excavating Equipment for the Outpacing Development of the Coal-bearing Zone. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 174. Article 01027.
12. Poderni R. Yu. The world market of deliveries of modern excavation and loading equipment for opencast mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no 2, pp. 148–167. [In Russ].
13. Sytenkov V.N., Ganin A.R., Donchenko T.V., Shibanov D.A. Analysis of rope and hydraulic excavators applications in opencast mining. *Ratsional'noe osvoenie nedr.* 2014, no 3, pp. 30–37. [In Russ].
14. Anistratov K. Yu. Quarry excavators – hydraulics or rope? *Ugol'*. 2010, no 6, pp. 31–35.
15. Katsubin A. V., Fedotov A.A. Systematization of the mining and geological conditions of the coal-bearing and coal-free zones of the Kuzbass open pits. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019, no 3(6), pp. 60–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.
16. Tyulenev M., Litvin O., Cehlar M., Zhironkin S., Gasanov M. Estimation of hydraulic backhoes productivity for overburden removing at Kuzbass Open Pits. *Acta Montanistica Slovaca*. 2017. Vol. 22. No 3. Pp. 296–302.
17. Dubinkin D.M., Sadovets V.Yu., Kotiev G.O., Kartashov A.V. Overburden and coal transportation research at open pit mines. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019. No 4. Pp. 50–66. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-50-66.
18. Shestakov I. G., Kosykh S. V. Use of hydraulic excavators of the «backhoe» type in difficult mining and geological conditions. *Vologdinskije chteniya*. 2012, no 80, pp. 168–170. [In Russ].
19. Miliy S.M. Evaluation of technology for development of inclined and steep coal deposits in Kuzbass. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020, no 1, pp. 45–73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
20. 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. Vol. 105. Article 01024.
21. 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. Vol. 41. Article 01003.
22. Litvin O.I. *Obosnovanie ratsional'nykh tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva vs-kryshnykh rabot obratnymi gidravlicheskimi lopatami na razrezakh Kuzbassa* [Justification of rational technological parameters of stripping operations by backhoes at Kuzbass open pits], Candidate's thesis, Kemerovo, 2012, 119 p.
23. Frimpong S., Hu Y., Awuah-Offei K. Mechanics of cable shovel-formation interactions in surface mining excavations. *Journal of Terramechanics*. 2005. Vol. 42. No 1. Pp. 15–33.
24. Bhaveshkumar P.P., Prajapati J.M. Kinematics of mini hydraulic backhoe excavator. *International Journal of Mechanisms and Robotic Systems*. 2013. Vol. 1. No 4. Pp. 261–282.
25. Conigliaro R.A., Kerzhner A.A. and Paredis C.J.J. Model-based optimisation of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009. Vol. 2. No 1. Pp. 298–308. DOI: 10.4271/2009-01-0565.
26. Moore R., Paredis C.J.J. Variable fidelity modeling as applied to trajectory optimization for a hydraulic backhoe. *Proceedings of ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. August 30 – September 2, 2009. San Diego. 2010. Vol. 5. Pp. 79–90. DOI: 10.1115/DETC2009-87522.
27. Zhang J.-R. Wang A.-L., Song S.-T., Cui D.-M. An analysis of trajectory in hydraulic backhoe excavators. *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*. 2011. Vol. 2. Article 007. DOI: 10.3969/j.issn.1673-3193.2011.02.007.
28. Nam B. X., Drebenstedt C. Use of hydraulic backhoe excavator in surface mining. *International Conference on Innovative Entwicklung und Konzepte in der Tagebautechnik*. Freiberg, TU Bergakademie. 2009. Pp. 175–189.
29. Strel'nikov A.V. *Obosnovanie struktur sloevykh tekhnologicheskikh skhem razrabotki uglenasyshchennykh zon razrezov Kuzbassa obratnymi gidravlicheskimi lopatami* [Justification of structures of layer technological schemes for mining of coal-bearing zones of Kuzbass open pits by backhoes], Candidate's thesis, Kemerovo, 2012, 152 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кацубин Александр Викторович¹ – аспирант,
директор разрезуправления АО «СУЭК-Кузбасс»,
Хорешок Алексей Алексеевич¹ – д-р техн. наук, профессор,
директор Горного института, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru,
Тюленев Максим Анатольевич¹ – канд. техн. наук, доцент, профессор,
Марков Сергей Олегович¹ – канд. техн. наук, доцент,
¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (КузГТУ).
Для контактов: Хорешок А.А., e-mail: haa.omit@kuzstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.V. Katsubin¹, Graduate Student;
Director of Surface Mining Office, JSC «SUEK-Kuzbass»,
SUEK-Kuzbass JSC, 652507, Leninsk-Kuznetskiy, Russia
A.A. Khoreshok¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Director of Mining Institute, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru,
M.A. Tyulenev¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Professor, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru,
S.O. Markov¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
¹ T. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 650000, Kemerovo, Russia.
Corresponding author: A.A. Khoreshok, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru.

Получена редакцией 18.03.2020; получена после рецензии 15.07.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 18.03.2020; received after the review 15.07.2020; accepted for printing 10.10.2020.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ

(2020, № 7, СБ 26, 20 с.)

Пепелев Роман Георгиевич – канд. техн. наук, доцент, e-mail: pepelev@bk.ru, НИТУ «МИСиС»,
Елисеева Анастасия Петровна – аспирант, e-mail: nastyaski94@mail.ru, НИТУ «МИСиС».

Предложена математическая модель, позволяющая определить перемещения частиц сыпучего материала в пространстве в пределах зоны влияния пунктов выпуска в зависимости от пространственного расположения любой частицы и выпущенного объема сыпучего материала. Рассмотрены разные методики индивидуального подхода к разработке кимберлитовых месторождений при условиях крайнего севера, ценность алмазного сырья, гидробразивная резка слоями для каратосбережения в разработке кимберлитовых месторождениях.

Ключевые слова: подземная разработка, системы с обрушением руды и вмещающих пород, перемещение частиц сыпучего материала, доза выпуска, фигура выпуска, коэффициент, характеризующий сыпучие свойства рудной массы.

OPTIMIZATION OF UNDERGROUND MINING

R.G. Pepelev¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, A.P. Eliseeva¹, Graduate Student,
¹ National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

A mathematical model is proposed that allows us to determine the movement of particles of bulk material in space within the zone of influence of release points, depending on the spatial location of any particle and the released volume of bulk material. Different methods of individual approach to the development of kimberlite deposits under the conditions of the far North, the value of raw diamonds, hydro-abrasive cutting layers for karatosberezhniya in the development of kimberlite deposits are considered.

Key words: underground mining, systems with collapse of ore and host rocks, movement of loose material particles, release dose, release figure, coefficient that characterizes the bulk properties of ore mass.