

Обоснование параметров выемочно-погрузочного оборудования для опережающей выемки угольных пластов на разрезах*

DOI: [http:// 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87](http://10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87)

ХОРЕШОК А.А.

Доктор техн. наук, профессор,
директор Горного института ФГБОУ
«КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия

КАЦУБИН А.В.

Аспирант кафедры ОГР ФГБОУ
«КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
генеральный директор ООО «Шахта № 12»,
650000, г. Кемерово, Россия

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент кафедры МСиИ
ФГБОУ «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия

КОШЕЛЕВ А.В.

Специалист, разрез «Виноградовский»
АО «Кузбасская топливная компания»,
652673, Кемеровская область,
Беловский район, село Каракан

ФЕДОТОВ А.А.

Инженер-технолог, разрез «Виноградовский»
АО «Кузбасская топливная компания»,
652673, Кемеровская область,
Беловский район, село Каракан

В настоящее время технология работ на действующих разрезах в части разработки угленасыщенной зоны ведется обычно горизонтальными слоями. В качестве основного выемочно-погрузочного оборудования чаще всего используются прямые мехлопаты и обратные гидролопаты, реже – прямые гидролопаты. Также используется совместная работа этих машин в любых сочетаниях. Но обоснование параметров этих комплексов как в проектах разрезов, так и в научных статьях освещено недостаточно. В данной статье приводятся основные положения методики выбора выемочно-погрузочного оборудования для разработки угленасыщенных зон на разрезах, описаны принципы работы инструментария для определения вместимости ковша экскаватора, применяемого для опережающей выемки угля.

Ключевые слова: открытые горные работы, гидравлические экскаваторы, мехлопаты, угленасыщенная зона, породугольная панель, опережающая выемка.

Для цитирования: Обоснование параметров выемочно-погрузочного оборудования для опережающей выемки угольных пластов на разрезах / А.А. Хорешок, А.В. Кацубин, Д.М. Дубинкин и др. // Уголь. 2022. № S12. С. 82-87. DOI: [http:// 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87](http://10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87).

* 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» в рамках 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.

ВВЕДЕНИЕ

Экскаваторные заходки по мере подвигания фронта работ и разрезные траншеи по мере его углубления могут быть представлены качественно однородной по составу (порода, уголь) или разнородной (породоугольные блоки) горной массой [1, 2, 3, 4]. Логично отметить, что наиболее высокопроизводительная работа будет достигнута при выемке элементов, однородных по своему строению (порода или уголь) [5, 6, 7]. Выемка разнородных элементов ведется попутно-опережающим способом: участок породоугольной панели, включающий в себя пласт (пласты) с междупластьем либо пласт с присечкой породы над кровлей (для обеспечения свободного доступа оборудования), делится на блоки простого и сложного строения [8, 9], которые обрабатываются в обычной последовательности классической технологии открытых горных работ, а внутри разнородных блоков выполняется опережающая выемка угольного пласта с параллельным извлечением необходимого объема вскрышной породы [10, 11, 12].

Обработка заходок по породным междупластьям производится блоками простого строения [11, 12, 13, 14, 15]. Рассредоточенные (одиночные) пласты могут разрабатываться или блоками простого строения, если заходка нарезана только по пласту (обычно мощному), или сложным породоугольным блоком, если заходка нарезана с включением пласта (обычно малой или средней мощности) [16, 17, 18, 19].

Сближенные пласты разрабатываются сложными породоугольными блоками, вследствие чего достигается разная производительность экскаватора при разработке породы и при разработке угля из-за различного состояния объекта разработки как горной породы; из-за различных вспомогательных операций, различной вместимости кузовов породозовов и углевозов и т.д. [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28].

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для начала моделирования требуются следующие исходные данные: число пластов, их мощность, сближенность/рассредоточенность (взаимное положение в свите); мощность междупластий; заданная годовая производственная мощность, длина обрабатываемого блока.

После расчетов получаем годовые объемы породы и угля, которые либо необходимо обработать имеющимся оборудованием, либо определить, какие экскаваторы потребуются для обработки этих объемов.

Рассмотрим простейшие условия: обработка одиночного пласта. Определим запасы угля на данном участке:

$$Q_{\text{пн}} = \frac{H_y \cdot l_{\text{фр}} \cdot m \cdot \rho_{\text{пн}}}{\sin \alpha_{\text{пн}}}, \text{ т,}$$

где m – нормальная мощность пласта, м; $\alpha_{\text{пн}}$ – угол падения пласта, градус; $l_{\text{фр}}$ – необходимая длина фронта работ на участке, м; H_y – высота уступа, м; $\rho_{\text{пн}}$ – плотность угля, т/м³.

Приравнявая $Q_{\text{пн}}$ к годовой производственной мощности участка $A_{\text{год}}$, определим необходимую длину фронта работ для выемки пласта:

$$l_{\text{фр}} = \frac{A_{\text{год}}}{H_y \cdot m_r \cdot \rho_{\text{пн}}}, \text{ м,}$$

где m_r – горизонтальная мощность пласта, м.

Тогда объем породы (по сути, разрезной траншеи), подлежащий извлечению для выемки пласта, равен:

$$V_{\text{п}} = 0,5 \cdot H_y \cdot l_{\text{фр}} \times \left[2 \cdot b_{\text{тр}} + \frac{H_y}{\text{tg} \alpha_{\text{ск}} + \text{tg} \alpha_{\text{пн}}} \right] = \\ = \frac{A_{\text{год}} \cdot \sin \alpha_{\text{пн}}}{2 \cdot m_r \cdot \rho_{\text{пн}}} \times \left[2 \cdot b_{\text{тр}} + \frac{H_y}{\text{tg} \alpha_{\text{ск}} + \text{tg} \alpha_{\text{пн}}} \right], \text{ м}^3.$$

Варианты обработки одиночного пласта могут быть следующие: выемка одним слоем на всю высоту уступа; выемка двумя слоями равной высоты; выемка тремя слоями равной высоты; выемка четырьмя слоями равной высоты.

Выбор того или иного варианта расчета зависит от параметров экскаватора и угла падения пласта. При двух пластах в породоугольной панели рассчитывается объем породы как со стороны кровли стратиграфически верхнего пласта, так и междупластья [15].

В случае, если пласты сближенные:

$$\sum V_{\text{п.сб}} = H_y \cdot l_{\text{фр}} \times \\ \times \left\{ \left[b_{\text{тр}} + \frac{H_y (\text{ctg} \alpha_{\text{пн}} + \text{ctg} \alpha_{\text{ск}})}{2} \right] + \sum_1^{i=n-1} \frac{M_{(i-1)}}{\sin \alpha_{\text{пн}}} \right\},$$

где M – суммарная мощность междупластий.

Длина фронта работ определится как:

$$l_{\text{фр}} = \frac{A_{\text{год}}}{H_y \cdot \rho_{\text{пн}} \cdot \sum m_r}.$$

Тогда

$$\sum V_{\text{п.сб}} = \frac{A_{\text{год}}}{\rho_{\text{пн}} \cdot \sum m_r} \times \\ \times \left\{ \left[b_{\text{тр}} + \frac{H_y (\text{ctg} \alpha_{\text{пн}} + \text{ctg} \alpha_{\text{ск}})}{2} \right] + \sum_1^{i=n-1} \frac{M_{(i-1)}}{\sin \alpha_{\text{пн}}} \right\}.$$

Основываясь на результатах, полученных нами ранее [29], можно проектировать необходимую вместимость ковша вскрышного экскаватора с учетом того, каким образом будет обеспечена его взаимная установка с автосамосвалами, либо, напротив, при известных марках и моделях экскаватора и автосамосвала обосновать параметры их взаимной установки.

ПРИМЕР

На участке разреза разрабатывается одиночный пласт, имеющий параметры: нормальная мощность $m = 8$ м, угол падения $\alpha_{\text{пн}} = 40^\circ$. Плановая производственная мощность $A_{\text{год}} = 0,5$ млн т угля в год. Согласно принятой системе разработки высота уступа H_y равна 10 м, ширина разрезной

траншеи по дну $b_{тр} = 2$ м (минимальная ширина для обеспечения зачистки кровли пласта), угол откоса траншеи по породе $\alpha_{ск} = 75^\circ$. Плотность угля $\rho_{пи} = 1,35$ т/м³. Требуется определить вместимость ковша экскаватора для обеспечения выполнения годового плана.

Тогда необходимая длина фронта работ $l_{фр}$ для обеспечения годовой производственной мощности определяется как

$$l_{фр} = \frac{A_{год}}{H_y \cdot m_r \cdot \rho_{пи}} = \frac{500000}{10 \cdot \frac{8}{\sin 40} \cdot 1,35} = 2976 \text{ м.}$$

Соответствующий этой длине фронта работ объем вскрыши V_n равен

$$\begin{aligned} V_n &= 0,5 \cdot H_y \cdot l_{фр} \times [2 \cdot b_{тр} + H_y (\text{ctg } \alpha_{пи} + \text{ctg } \alpha_{ск})] = \\ &= 0,5 \cdot 10 \cdot 2976 \times [2 \cdot 2 + 10(\text{ctg } 40 + \text{ctg } 75)] = \\ &= 276,7 \text{ тыс. м}^3. \end{aligned}$$

Тогда общий объем горной массы, подлежащий обработке одним экскаватором, равен:

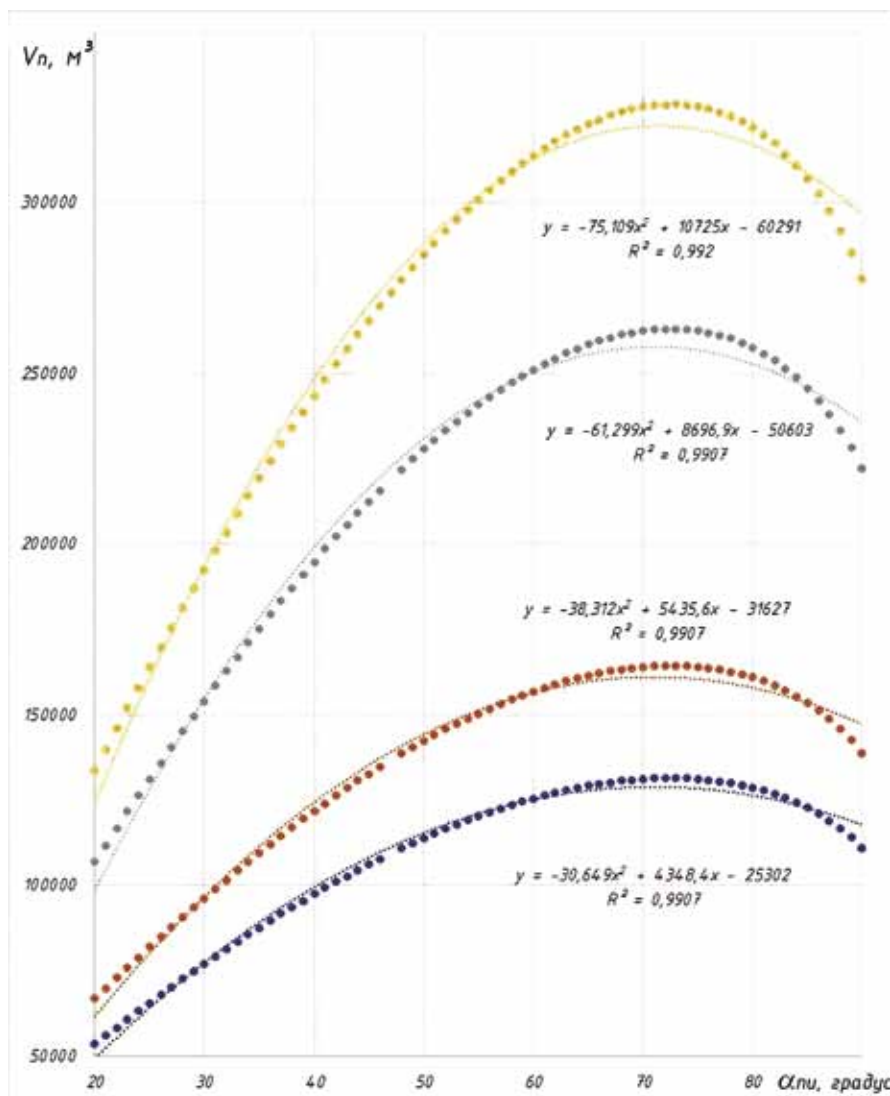
$$V_{гм} = V_n + \frac{A_{год}}{\rho_{пи}} = 276,7 + \frac{500000}{1,35} \approx 638 \text{ тыс. м}^3.$$

Определяем необходимую вместимость ковша экскаватора, принимая во внимание, что количество рабочих смен в году $n_{год}$ равно 540, а сменная производительность обратной гидролопаты, по данным [30, 31], рассчитывается как $Q_{см}^{ЭГО} = 307,82 \cdot E + 360,1$:

$$E = \frac{\frac{V_{гм}}{n_{год}} - 360,1}{307,82} = \frac{\frac{638000}{540} - 360,1}{307,82} \approx 2,7 \text{ м}^3.$$

Например, это может быть экскаватор Liebherr R956 Litronic, Hitachi ZX670LC 5G и тому подобные модели.

Далее был выполнен расчет объема породы, подлежащего извлечению для выемки заданного количества угля. В расчете моделировалось изменение горно-геологических и горнотехнических условий. По итогам моделирования получено семейство кривых (см. рисунок).



Зависимости объемов вскрыши, требующих извлечения при выемке угольного пласта. Постоянные данные: $H_y = 10$ м, $b_{тр} = 3$ м, $\alpha_{ск} = 75^\circ$, $\rho_{пи} = 1,35$ т/м³. Кривые (сверху вниз) соответствуют условиям:

- 1) $m = 8$ м, $A_{год} = 1$ млн т/г.;
- 2) $m = 10$ м, $A_{год} = 1$ млн т/г.;
- 3) $m = 8$ м, $A_{год} = 0,5$ млн т/г.;
- 4) $m = 10$ м, $A_{год} = 1$ млн т/г.

Dependencies of overburden volumes that require removal during excavation of a coal seam. Constant data: $H_y = 10$ m, $b_{тр} = 3$ m, $\alpha_{ск} = 75^\circ$, $\rho_{пи} = 1.35$ t/m³. The curves (from top to bottom) correspond to the following conditions:

- 1) $m = 8$ m, $A_{year} = 1$ mln. tpa;
- 2) $m = 10$ m, $A_{year} = 1$ mln. tpa;
- 3) $m = 8$ m, $A_{year} = 0.5$ mln. tpa;
- 4) $m = 10$ m, $A_{year} = 1$ mln. tpa

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных зависимостей показывает уменьшение объема вскрышных пород при угле залегания пласта по падению больше 75°. Это связано с тем, что при расчете не учитывался объем дополнительно вынимаемых объемов вскрыши со стороны лежачего бока (почвы пласта) при угле его залегания по падению выше 75°.

Прирезка породы в этих условиях необходима для обеспечения устойчивости откоса породного уступа; при этом вскрыша должна быть подготовлена к выемке буровзрывным способом, что значительно уменьшит угол откоса уступа – в среднем до 50-55°. Данный вопрос планируется нами к рассмотрению в последующих работах.

Список литературы

- 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. Vol. 2(2). p. 36-50. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-36-49.
- Miliy S. Evaluation of technology for development of inclined and steep coal deposits in Kuzbass // *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020. Vol. 1(8). P. 45-73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
- Theoretical Features of Rope Shovels and Hydraulic Backhoes Using at Open Pit Mines / A. Strelnikov, S. Markov, L. Rattmann et al. // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 41. Article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101003.
- Study of the backhoe's digging modes at rock face working-out / O. Litvin, V. Makarov, A. Strelnikov et al. // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 105. Article 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024.
- Использование вскрышных пород для повышения экологической безопасности угледобывающего региона / Е.В. Макридин, М.А. Тюленев, С.О. Марков и др. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 12. С. 89-102.
- Kolesnikov V., Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening // *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020. Vol. 2(9). P. 42-74. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-42-74.
- Mining technology with drilling-blasting operations / D. Hrehová, M. Cehlár, R. Rybár et al. / 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO – Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2012 1, 675-682.
- Özdoğan M., Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study // *Scientific Mining Journal*. 2019. Vol. 58(1). P. 73-79. DOI: 10.30797/madencilik.537648.
- 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. Vol. 13(1). P. 37-48.
- Influence of transport and road complex on the natural-technical system / I. Bosikov, R. Klyuev, V. Tavasiev et al. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 918. Article 012223.
- Technogenic Rock Dumps Physical Properties' Prognosis via Results of the Structure Numerical Modeling / S. Markov, V. Martynov, E. Preis et al. // *E3S Web of Conferences*. 2017. Vol. 21. Article 01021. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101021.
- Mitrev R., Janošević D., Marinković D. Dynamical modelling of hydraulic excavator considered as a multibody system // *Tehnicki Vjesnik*. 2017. Vol. 24. P. 327-338. DOI: 10.17559/TV-20151215150306.
- Klyuev 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. Vol. 8(3). P. 222-230.
- Hödaverdi T., Akyildiz O. Investigation of blast fragmentation models in a sandstone quarry // *Scientific Mining Journal*. 2020. Vol. 59 (3). P. 145-156. DOI: 10.30797/madencilik.792386.
- Технология опережающей выемки наклонных и крутых угольных пластов обратными гидравлическими лопатами / А.В. Кацубин, А.А. Хорешок, М.А. Тюленев и др. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. № 11. С. 27-36. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.
- Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency / D. Janosevic, R. Mitrev, B. Andjelkovic et al. // *Journal of Zhejiang University: Science A*. 2012. Vol. 13(12). P. 926-942. DOI: 10.46544/AMS.v27i2.02.
- Логинов Е.В., Тюленева Т.А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // *Уголь*. 2021. № 12. С. 6-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10 DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
- 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*. 2021. Vol. 12(4). P. 309-326.
- Coal Handling Operational Risk Management: Stripped Overburden Transport in Brown Coal Open Pit Mines / M. Vaněk, G.F. Valverde, I. Černý et al. // *Acta Montanistica Slovaca*. 2020. Vol. 25(2). P. 170-181. DOI: 10.46544/AMS.v25i2.4.
- 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. Vol. 84(1). Article 012044.
- Вибрационное воздействие через скважины и технология дегазационной подготовки низкопроницаемого угольного пласта / М.В. Павленко, Н.Г. Барнов, Д.А. Кузиев и др. // *Уголь*. 2020. № 1. С. 36-40. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.
- Assessment process of concept for mining and its impact on the region / M. Cehlár, J. Janočko, Z. Šimková et al. // *E3S Web of Conferences*. 2017. Vol. 15. Article 01019. DOI: 10.1051/e3sconf/20171501019.
- 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. Vol. 13(1). P. 18-36. DOI: 10.1504/IJMMME.2022.10048881.

24. Influence of Water Treatment Plants on the Ecological Situation in Industrialized Regions / O.I. Volkova, N.A. Zolotukhin, V.M. Zolotukhin et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 543(1). Article 012012.
25. Ulewicz R., Krstić B., Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers // Acta Montanistica Slovaca. 2022. Vol. 27(2). P. 291-305.
26. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3. С. 31-49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
27. Markov S.O., Murko E.V., Nepsha F.S. Grain size distribution of waste rock masses of Kuzbass coal strip mines // Mining Science and Technology. 2021. Vol. 6(4). P. 259-266. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266.
28. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2. С. 39-50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
29. Об изменении эффективной производительности экскаваторов при использовании карьерных самосвалов с различной вместимостью кузова / А.А. Хорешок, Д.М. Дубинкин, С.О. Марков и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 6. С. 85-93. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-6-85-93.
30. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2019. 3(6):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
31. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2019. 4(7):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

Original Paper

GEOTECHNOLOGY

UDC 622.271:621.879:658.012.122.001.57 © A.A. Khoreshok, A.V. Katsubin, D.M. Dubinkin, A.V. Koshelev, A.A. Fedotov, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 82-87
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87>

Title

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF EXCAVATION AND LOADING EQUIPMENT FOR OUTPACING EXCAVATION OF COAL SEAMS AT OPENCAST MINES

Authors

Khoreshok A.A.¹, Katsubin A.V.^{1,2}, Dubinkin D.M.¹, Koshelev A.V.³, Fedotov A.A.³

¹ Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

² Mine No. 12 LLC, Kiselevsk, 652718, Russian Federation

³ Vinogradovsky strip mine of the Kuzbass Fuel Company JSC, Karakan village, Belovskiy District, Kemerovo Region, 652673, Russian Federation

Authors Information

Khoreshok A.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of the Mining Institute

Katsubin A.V., Post-graduate student of the Department of Open Pit Mining, General Director

Dubinkin D.M., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Metal-Cutting Machines and Tools

Koshelev A.V., Professional staff member

Fedotov A.A., Process engineer

Abstract

Currently, the technology of works at the operating open pits in terms of development of the coal-bearing zone is usually conducted by horizontal layers. As the main excavation and loading equipment are most often used mechanical (rope) shovels and backhoes, less often – direct hydraulic shovels. Also, joint work of these machines in any combinations is used. But the justification of the parameters of these complexes both in the projects of coal mining enterprises and in scientific articles is covered insufficiently. This article presents the basic provisions of the methodology for selecting excavation and loading equipment for the development of coal-bearing zones at opencast mines, describes the principles of tools to determine the capacity of the excavator bucket, used for outpacing excavation of coal.

Keywords

Open-pit mining, Hydraulic shovels, Rope shovels, Coal-bearing zone, Rock and coal panel, Outpacing excavation.

References

- 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, Vol. 2, (2). pp. 36-50. DOI: 10.26730/2618-7434-2018-2-36-49.
- Mily S. Evaluation of technology for development of inclined and steep coal deposits in Kuzbass. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2020, Vol. 1, (8), pp. 45-73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
- 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), Article 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101003.
- 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), Article 01024. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501024.
- Makridin E.V., Tyulenev M.A., Markov S.O. et al. Utilization of overburden rocks to improve the environmental safety of the coal mining region. *Gorniy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2020, (12), pp. 89-102. (In Russ.).
- Kolesnikov V. & Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2020, Vol. 2, (9), pp. 42-74. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-42-74.

7. Hrehová D., Cehlár M., Rybár R. & Mitterpachová N. Mining technology with drilling-blasting operations. 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO – Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2012 1, 675-682/
8. Özdoğan M. & Özdoğan H. Cycle time segments of electric rope shovels – a case study. *Scientific Mining Journal*, 2019, Vol. 58, (1), pp. 73-79. DOI: 10.30797/madencilik.537648.
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, Vol. 13, (1), pp. 37-48.
10. 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), Article 012223.
11. Markov S., Martyanov V., Preis E. & Abay A. Technogenic Rock Dumps Physical Properties' Prognosis via Results of the Structure Numerical Modeling. *E3S Web of Conferences*, 2017, (21), Article 01021. DOI: 10.1051/e3s-conf/20172101021.
12. Mitrev R., Janošević D. & Marinković D. Dynamical modelling of hydraulic excavator considered as a multibody system. *Tehnicki Vjesnik*, 2017, (24), pp. 327-338. DOI: 10.17559/TV-20151215150306.
13. 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, Vol. 8, (3), pp. 222-230.
14. Hödaverdi T. & Akyildiz O. Investigation of blast fragmentation models in a sandstone quarry. *Scientific Mining Journal*, 2020, Vol. 59, (3), pp. 145-156. DOI: 10.30797/madencilik.792386.
15. Katsubin A.V., Khoreshok A.A., Tyulenev M.A., Markov S.O. Technology of advance excavation of inclined and steep coal seams using hydraulic backhoes // *Gornyy informacionno-analiticheskiy búlleten'*, 2020, (11), pp. 27-36. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.
16. 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, Vol. 13, (12), pp. 926-942. DOI: 10.46544/AMS.v27i2.02.
17. Loginov E.V. & Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 6-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
18. 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*, 2021, Vol. 12, (4), pp. 309-326.
19. Vaněk M., Valverde G.F., Černý I. & Hudeček V. Coal Handling Operational Risk Management: Stripped Overburden Transport in Brown Coal Open Pit Mines. *Acta Montanistica Slovaca*, 2020, Vol. 25, (2), pp. 170-181. DOI: 10.46544/AMS.v25i2.4.
20. 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, Vol. 84, (1), Article 012044.
21. Pavlenko M.V., Barnov N.G., Kuziev D.A., Kenzhabaev K.N. & Monzoev M.V. Vibration impact through wells and the technology of degassing of the preparation of low-permeability coal seam. *Ugol'*, 2020, (1), pp. 36-40. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.
22. Cehlár M., Janočko J., Šimková Z. & Pavlík T. Assessment process of concept for mining and its impact on the region. *E3S Web of Conferences*, 2017, (15), Article 01019. DOI: 10.1051/e3sconf/20171501019.
23. 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, Vol. 13, (1), pp. 18-36. DOI: 10.1504/IJMME.2022.10048881.
24. Volkova O.I., Zolotukhin 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, Vol. 543, (1), Article 012012.
25. Ulewicz R., Krstić B. & Ingaldi M. Mining Industry 4.0 – Opportunities and Barriers. *Acta Montanistica Slovaca*, 2022, Vol. 27, (2), pp. 291-305.
26. Dubinkin D.M. A method to determine the loads acting during loading and dumping of the load platform (box) of a mining dump truck. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2022, (3), pp. 31-49. (In Russ.).
27. Markov S.O., Murko E.V. & Nepsha F.S. Grain size distribution of waste rock masses of Kuzbass coal strip mines. *Mining Science and Technology*, 2021, Vol. 6, (4), pp. 259-266. DOI: 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266.
28. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital design of autonomous dump trucks. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2022, (2), pp. 39-50. (In Russ.).
29. Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. On changing effective output of excavators when using mining dump trucks with different box capacity/ *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2021, (6), p. 85-93. (In Russ.).
30. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2019, 3(6):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
31. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2019, 4(7):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

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., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Koshelev A.V. & Fedotov A.A. Justification of parameters of excavation and loading equipment for outpacing excavation of coal seams at opencast mines. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 82-87. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.

Paper info

Received November 1, 2022
Reviewed November 15, 2022
Accepted November 30, 2022