

К определению рациональной области применения выемочно-погрузочного оборудования*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-91-95>

Геологическое строение Кузбасса является одним из самых сложных в мировой практике. Повсеместные геологические пликативные и дизъюнктивные нарушения, а также не выдержианность пластов по мощности и углу залегания создают значительные трудности при разработке угольных месторождений как подземным, так и открытым способом. С другой стороны, разнородность применяемого при открытой геотехнологии выемочно-погрузочного оборудования (более 50 различных марок экскаваторов – механических лопат, прямых и обратных гидролопат, а также драглайнов) обуславливает проблемы организационного характера. В данной статье на основе анализа работ, выполненных ранее, и практического опыта разрезов Кузбасса представлено краткое описание предпосылок к определению рациональной области применения того или иного вида оборудования, а также приведены факторы, на основе учета которых разработана систематизация послонных технологических схем.

Ключевые слова: открытые горные работы, гидравлические экскаваторы, угленасыщенная зона, безугольная зона, породугольная панель, слоевая разработка.

Для цитирования: К определению рациональной области применения выемочно-погрузочного оборудования / А.А. Хорешок, О.И. Литвин, А.В. Кацубин и др. // Уголь. 2023. № 3. С. 91-95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-91-95.

ВВЕДЕНИЕ

Работы по изучению влияния взаимного расположения пластов в свите на технологию ведения горных работ ведутся уже не первое десятилетие [1]. В исследованиях [2, 3, 4, 5, 6] решен ряд задач, в част-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

ХОРЕШОК А.А.

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

ЛИТВИН О.И.

Канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры ОГР ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия,

КАЦУБИН А.В.

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

ДУБИНКИН Д.М.

Канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии» ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия

МАРКОВ С.О.

Канд. техн. наук, доцент Междуреченского филиала ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева» 652881, г. Междуреченск, Россия

ТЮЛЕНЕВ М.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры ОГР ФГБОУ ВО «КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru



**НОЦ
КУЗБАСС**

Научно-образовательный
центр «Кузбасс»

ности, систематизировано строение траншей и уступов, нарезаемых при календарном планировании; представлены ряд базовых схем разработки слоев и алгоритм их выбора и т.д.

Установлено, что рассредоточенное залегание пластов распространено преимущественно при их наклонном залегании на месторождениях центрального и южного Кузбасса. Однако имеется ряд месторождений (например, Кондомское) с крутым рассредоточенным залеганием пластов. Сближенное залегание смежных двух и более пластов в границах свиты имеет ограниченное распространение и, как правило, привязано к крыльям складок наклонного и крутого залегания. В целом залегание пластов в свитах северного, центрального и южного Кузбасса можно характеризовать как смешанное (сближенно-рассредоточенное) [2, 3].

Необходимо подчеркнуть, что структуры слоев угленасыщенной зоны имеют случайный характер [7, 8], поскольку являются продуктами случайных природных факторов: продолжительности и особенностей геологических эпох пермского периода и более поздних тектонических процессов. Единственный объединяющий признак, который может быть принят во внимание, – число пластов в свите.

Если в основу систематизации положить только горно-геологические факторы и принять за основной классификационный признак число пластов, то дополнительные признаки (взаимное положение пластов в свите, угол их залегания, мощность и т.д.) существенно усложнят систематизацию, она будет иметь громоздкий вид, малоприспособленный к практическому применению. Необходимо будет устанавливать узконаправленные рекомендации по каждому элементу систематизации.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Был выполнен анализ слоев с точки зрения технологии производства горных работ и, конечно, с учетом геологических факторов, из которого следует, что в каждом из слоев имеют место как общие, так и индивидуальные признаки, определяющие технологию производства горных работ.

Все они связаны с выемкой угольных пластов, т.е. обычными работами. Например, могут быть разные схемы подготовки пласта к выемке, порядок разработки пласта; в рамках одной технологической схемы может производиться выемка одного, двух и более пластов.

К общему признаку можно отнести выемку одного пласта при обязательном учете типа выемочной машины и угла залегания. Как частный случай, к общему признаку можно отнести разработку породного уступа.

К индивидуальным признакам можно отнести разработку породугольных блоков с двумя и более пластами в рамках одной технологической схемы.

Эти признаки, систематизированные в виде технологических схем различной сложности, представляют собой, по сути, графические, а с расчетом параметров и показателей – и экономические модели. Ограничения по параметрам этих моделей могут быть получены на основе анализа геометрии слоев.

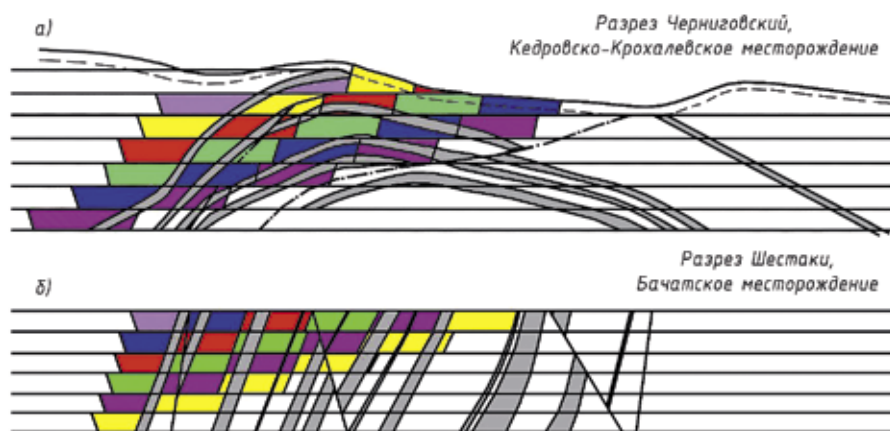
Поэтому приведены в систему элементы свит, состоящие из двух и более близкорасположенных пластов, требующих для разработки индивидуальные технологические схемы.

Поскольку сближенность пластов надо устанавливать по численному значению критерия сближенности, то до этого расчета считаем целесообразным применить термин «близко расположенные пласты», имея при этом в виду, что нормальная мощность междупластья между двумя пластами – не более 25 м. Отметим, что ранее были разработаны и систематизированы технологические схемы для выемки одиночных и сближенных пластов [9].

Но при календарном планировании на разрезах в тот или иной блок, обычно соответствующий годовому объему отработки, часто попадают несколько пластов (см. рисунок).

При отработке такого блока по классической технологии (заходками стандартной ширины) часто возникают случаи, когда мощности пластов и междупластий позволяют вести только попеременную выемку: сначала извлекают одна-две заходки по породе с зачисткой согласно залегающему угольному пласту, затем отрабатывается пласт на всю длину блока, затем цикл повторяется. Эта технология имеет недостаток, обусловленный конструктивными особенностями применяемого оборудования. Мехлопата менее маневренна и к тому же «привязана» к источнику питания, что обуславливает сравнительно прямолинейное ее движение, а при изменении положения пласта в заходке часть рабочего времени, затрачиваемая на переезды от забоя к забю, существенно увеличивается [10, 11, 12, 13, 14].

Если в известной формуле расчета [15] эксплуатационной производительности мехлопаты коэффициент использования рабочего времени принимается равным 0,7-0,8, то при



Календарное планирование на разрезах «Черниговский» (а) и «Шестаки» (б).

Разным цветом отмечены годовые объемы разных лет

Scheduling at Chernigovsky (a) and Shestaki (b) open pit mines. Different colors indicate annual volumes of different years

отработке угленасыщенных зон с непостоянными параметрами залегания пласта его значение падает до 0,55 и ниже [16, 17, 18, 19].

Поэтому предлагается минимизировать данный недостаток путем следующих мероприятий:

по всей ширине выемочной панели производится опережающая выемка пластов обратной гидравлической лопатой на определенную длину блока. Длина блока определяется исходя из конкретных горно-геологических условий, с одной стороны, и требований предприятия (обеспечения необходимого объема добычи) – с другой;

после выемки угольных пластов и преобразования, таким образом, угленасыщенной зоны в безугольную, мехлопата отработывает всю оставшуюся часть вскрыши широкой заходкой (или заходками нормальной ширины) с высоким коэффициентом использования рабочего времени и, соответственно, с увеличившейся производительностью;

для отработки мощных междупластий рациональным будет применение механических лопат отечественного или зарубежного производства с большой единичной мощностью и вместимостью ковша от 18 куб. м.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При высоте уступов 10-17 м, соответствующих требованиям эксплуатации мехлопат в безугольной зоне, их разработка в угленасыщенной зоне по конструктивным и эксплуатационным условиям обратных гидравлических лопат предопределяет выемку пластов на блоке технологически взаимосвязанными 3-4 слоями: верхний, средний (средние), нижний – высотой 3-5 м каждый.

Структуру послонных технологических схем рекомендуется выбирать в соответствии с их систематизацией [20, 21], основанной на учете следующих факторов:

– угол залегания, число и мощность пластов и их взаимное расположение с учетом сближенности;

– выемка породы и угля производится нижним черпанием с обнажением пласта со стороны кровли с одновременной зачисткой породугольного контакта;

– по условию транспортного подъезда разработка верхнего слоя производится с погрузкой на уровне стояния экскаватора; среднего (средних) и нижнего – с нижней погрузкой;

– порядок отработки слоя: продольными на длину блока заходками по породе и по пласту с отдельной подачей автосамосвалов для породы и углевозов; поперечными заходками с отдельной выемкой угля и породы с оперативно-диспетчерским управлением подачи автосамосвалов;

– при работе беспилотных карьерных автосамосвалов в комплексе как с мехлопатами, так и с гидролопатами предполагается некоторая корректировка технологических схем работы оборудования из-за возможности незначительно снизить ширину транспортных берм, автодорог и т.д. [22, 23].

Для обеспечения возможности выделения характерных блоков необходимо построить алгоритм определения идентификационного шифра объекта разработки, поэтому предлагается следующее разделение объектов на возможные варианты их поэлементных составляющих:

- объектом может быть либо траншея, либо заходка;
- необходимо учесть залегание пластов – согласное или несогласное – в первую очередь при разработке заходок, поскольку траншею в подавляющем большинстве случаев проводят с кровли пласта; также учитывается угол залегания пластов;
- определяется сближенность/рассредоточенность пластов;
- определяется количество пластов на блоке (по данным геологических разрезов);
- результатом является идентификационный шифр объекта, для которого разрабатываются (либо уже разработаны) типовые схемы ведения горных работ.

ВЫВОДЫ

Анализ работ, посвященных применению мехлопат, и представленных в них технологических схем позволяет сделать следующие выводы.

1) Высота обрабатываемого породного уступа составляет 10-17 м. Это практически соответствует обычной высоте уступа, принимаемой при проектировании разрезов (10, 12 и 15 м). Такая высота принимается для удобства последующей нарезки уступа или траншеи на слои, обрабатываемые в дальнейшем гидравлическими экскаваторами, имеющими ограниченную глубину копания.

2) Если мехлопата используется на добычных работах, то обрабатываемый пласт является мощным и имеет простое строение. Отработка маломощных пластов ведется валовым способом, что увеличивает потери угля либо повышает себестоимость его добычи из-за возросших затрат на обогащение. Для полноты выемки угольного пласта может применяться слоевая отработка подступами по 2,5-5 м высотой.

3) При отработке чисто безугольной зоны экскаваторная заходка (ширина траншеи) может достигать значительной величины – 80 и более метров. В этом случае, как правило, используется погрузка на два подъезда с применением кабельных ворот.

В целом же можно сказать, что условия рационального применения мехлопат достаточно узки. На добычных работах их применять нецелесообразно, за исключением случаев отсутствия иных типов экскаваторов либо при разработке особо мощных пластов.

Анализ работ о применении обратных гидролопат показывает значительно большее разнообразие горнотехнических условий работы оборудования. Это разделение обрабатываемого блока (траншеи или заходки) на слои любой высоты; работа в угленасыщенных зонах; отработка угольных пластов, в том числе маломощных, осложненных пликативными и дизъюнктивными нарушениями и т.д.

При отработке угленасыщенных зон и выборе соответствующего оборудования необходимо исходить из возможного изменения годовой производственной мощности участка. Варьируя марками и моделями гидравлических экскаваторов, можно подобрать комплект оборудования, отвечающий требованиям разреза даже при текущем изменении производственной мощности на 10-15% в большую или меньшую сторону.

Список литературы

1. Колесников В.Ф., Кузнецов Б.И., Ташкинов А.С. Технические решения по вскрытию рабочих горизонтов разрезов Кузбасса. Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. 172 с.
2. Стрельников А.В. Типовые паспорта забоев для разработки угленасыщенных зон карьерных полей разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами. Часть 1. Общие положения // Техника и технология горного дела. 2019. № 3. С. 4-20. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
3. Стрельников А.В. Типовые паспорта забоев для разработки угленасыщенных зон карьерных полей разрезов Кузбасса обратными гидравлическими лопатами. Часть 2. Паспорта экскаваторных забоев // Техника и технология горного дела. 2019. № 4. С. 4-29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.
4. Опыт и перспективы применения гидравлических экскаваторов при отработке угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса / Л.И. Кантович, О.И. Литвин, А.А. Хорешок и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 152-160. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160.
5. 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.
6. 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. P. 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101003.
7. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines / E. Murko, J. Janočko, E. Makridin et al. // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 315. P. 02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
8. 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.
9. Колесников В.Ф., Корякин А.И., Стрельников А.В. Технология ведения выемочных работ с применением гидравлических экскаваторов. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2009. 143 с.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виноцкий и др. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
16. 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.
17. 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). P. 222-230.
18. 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.
19. 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.
20. 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. № 512. С. 82-87. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-512-82-87.
21. Применение модульного метода для расчета показателей разработки угленасыщенной зоны на разрезах / А.А. Хорешок, А.В. Кацубин, Д.М. Дубинкин и др. // Уголь. 2022. № 512. С. 76-81. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-512-76-81.
22. 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.
23. 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.

Original Paper

UDC 622.271.5:621.879 © A.A. Khoreshok, O.I. Litvin, A.V. Katsubin, D.M. Dubinkin, S.O. Markov, M.A. Tyulenev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 3, pp. 91-95
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-3-91-95>

Title

TO DETERMINE THE RATIONAL AREA OF APPLICATION OF EXCAVATION AND LOADING EQUIPMENT

Authors

Khoreshok A.A.¹, Litvin O.I.¹, Katsubin A.V.^{1,2}, Dubinkin D.M.¹, Markov S.O.³, Tyulenev M.A.¹¹ Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation² Mine No. 12 LLC, Kiselevsk, 652718, Russian Federation³ Mezhdurechensk Branch of Gorbachev's Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk, 652881, Russian Federation

Authors Information

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

Litvin O.I., PhD (Engineering), Associate Professor,

Senior researcher of the Department of Open Pit Mining

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

Dubinkin D.M., PhD (Engineering), Associate Professor, Leading researcher of the Scientific center "Digital Technologies"

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

Tyulenev M.A., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Open Pit Mining, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

Abstract

The geological structure of Kuzbass is one of the most complicated in the world practice. Ubiquitous geological plicate and disjunctive disturbances, as well as unstable seams in thickness and dip angle create significant difficulties in developing coal deposits by both underground and open-cut methods. On the other hand, the diversity of excavation and loading equipment used in open-cut mining (more than 50 different models of excavators – rope shovels, hydraulic shovels, backhoes and draglines) causes problems of organizational nature. On the basis of the analysis of the works executed earlier, and practical experience of open pit mines of Kuzbass the brief description of preconditions to definition of rational field of application of this or that kind of the equipment is presented in this article, and also the factors on the basis of which systematization of layer-by-layer technological schemes is developed are resulted.

Keywords

Open-pit mining, Hydraulic excavators, Coal-bearing zone, Coalless zone, Rock and coal panel, Layer-by-layer mining.

References

- Kolesnikov V.F., Kuznetsov B.I. & Tashkinov A.S. Technical solutions for opening of producing levels in Kuzbass strip mines. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 1998, 172 p. (In Russ.).
- Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Tekhnika i tehnologiya gornogo dela*, 2019, (3), pp. 4-20. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
- 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. *Tekhnika i tehnologiya gornogo dela*, 2019, (4), pp. 4-29. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.
- Kantovich L.I., Litvin O.I., Khoreshok A.A. et al. Experience and prospects of using hydraulic excavators in mining of coal-saturated zones in Kuzbass strip mines. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2019, (4), pp. 152-160. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-152-160.
- Katsubin A.V., Khoreshok A.A., Tyulenev M.A. et al. Technology of advance excavation of inclined and steep coal seams using hydraulic backhoes. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2020, (11), pp. 27-36. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.
- Strelnikov A., Markov S., Rattmann L. et al. Theoretical Features of Rope Shovels and Hydraulic Backhoes Using at Open Pit Mines. *E3S Web of Conferences*, 2018, (41), pp. 01003. DOI: 10.1051/e3sconf/20184101003.
- Murko E., Janočko J., Makridin E. et al. On the need to consider the lithological composition of overburden rocks in the design of waste water treatment plants at open pit mines. *E3S Web of Conferences*, 2021, (315), pp. 02013. DOI: 10.1051/e3sconf/202131502013.
- 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.
- Kolesnikov V.F., Koryakin A.I. & Strelnikov A.V. Technology of excavation works using hydraulic excavators. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2009, 143 p. (In Russ.).
- Hödaverdi T. & Akyildiz O. Investigation of blast fragmentation models in a sandstone quarry. *Scientific Mining Journal*, 2020, (59), pp. 145-156. DOI: 10.30797/madencilik.792386.

11. 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.

12. 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, (12), pp. 309-326.

13. Vaněk M., Valverde G.F., Černý I. et al. Coal Handling Operational Risk Management: Stripped Overburden Transport in Brown Coal Open Pit Mines. *Acta Montanistica Slovaca*, 2020, (25), pp. 170-181. DOI: 10.46544/AMS.v25i2.4.

14. 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), pp. 37-48.

15. Reference Book. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinitsky K.E. et al. Surface mining. Moscow, Gornoe Buro Publ., 1994, 590 p. (In Russ.).

16. Bosikov I., Klyuev R., Tavasiev V. et al. Influence of transport and road complex on the natural-technical system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, (918), Article 012223.

17. 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), pp. 222-230.

18. Janosevic D., Mitrev R., Andjelkovic B. et al. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency. *Journal of Zhejiang University: Science A*, 2012, (13), pp. 926-942. DOI: 10.46544/AMS.v27i2.02.

19. Mitrev R., Janošević D. & Marinković D. Dynamical modelling of hydraulic excavator considered as a multibody system. *Tehnicky Vjesnik*, 2017, (24), pp. 327-338. DOI: 10.17559/TV-20151215150306.

20. 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.

21. Khoreshok A.A., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. Using the modular method to calculate the indicators of mining of the coalbearing zone at opencast mines. *Ugol*, 2022, (S12), pp. 76-81. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-76-81.

22. 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.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.

23. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital design of autonomous dump trucks. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2022. (2), pp. 39-50. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.

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., Litvin O.I., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Markov S.O. & Tyulenev M.A. To determine the rational area of application of excavation and loading equipment. *Ugol*, 2023, 3, pp. 91-95. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-91-95.

Paper info

Received February 2, 2023

Reviewed February 15, 2023

Accepted February 27, 2023