

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ОБРАТНЫМИ ГИДРОЛОПАТАМИ В КОМПЛЕКСЕ С АВТОСАМОСВАЛАМИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 ТОНН

Хорешок А.А.¹, Данилов С.Н.², Дубинкин Д.М.¹, Марков С.О.^{1,3}, Тюленев М.А.¹

¹Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово;

²ООО Разрез Березовский, с. Калачево;

³Филиал Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, Междуреченск

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, открытые горные работы, эффективная производительность экскаватора, карьерный автотранспорт, забойный блок, траектория движения режущей кромки зубьев ковша, подступ.

Аннотация. В связи с широким диапазоном углов падения угольных пластов при разработке сложноструктурных месторождений одной из актуальных задач современного горного производства является обеспечение возможности полного прочерпывания угольного пласта с возможностью его безопасной погрузки в карьерный транспорт, в качестве которого чаще всего выступают карьерные автосамосвалы классического, а в последние два-три года – и беспилотного (роботизированного) типа. По различным оценкам, от 28 до 35% пластов Кузбасса имеют наклонное падение (по классификации проф. В.Ф. Колесникова – 15-45°). При разработке таких пластов обратными гидравлическими лопатами существует проблема непрочерпывания на подошве формируемого уступа и оставления так называемых «треугольников» или, если быть точнее, призм недобора. Во избежание этого зачастую приходится обрабатывать уступы слоями, причем количество этих слоев в каждом конкретном случае может быть разным. Кроме того, возникает вопрос, как рациональнее располагать автосамосвалы под погрузку и сможет ли экскаватор при, например, нижней погрузке безопасно и высокопроизводительно их погружать. Акцентируя внимание в первую очередь на актуальности данного вопроса, рассмотрим отработку наклонного пласта экскаваторами Komatsu PC1250 и Komatsu PC2000 как одними из наиболее распространенных моделей данного вида оборудования, в комплексе с которыми используются автосамосвалы БелАЗ-75302 грузоподъемностью 220 тонн.

SOME PECULIARITIES OF INCLINED COAL SEAMS MINING BY BACKHOES IN COMPLEX WITH DUMP TRUCKS OF 220 TONS PAYLOAD CAPACITY

Khoreshok A.A.¹, Danilov S.N.², Dubinkin D.M.¹, Markov S.O.^{1,3}, Tyulenev M.A.¹

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo;

²Berezovsky Surface Mine LLC, Kalachevo;

³Mezhdurechensk branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Mezhdurechensk

Keywords: hydraulic excavator, open-pit mining, effective excavator productivity, quarry transport, face block, trajectory of cutting edge of bucket teeth, subbench.

Abstract. Due to the wide range of dip angles of coal seams during the development of complex-structured deposits, one of the urgent tasks of modern mining production is to ensure the possibility of complete digging of the coal seam with the possibility of its safe loading into the quarry transport, which is most often the classic, and in the last two-three years – unmanned (robotic) type dump trucks. According to various estimates, from 28 to 35% of seams in Kuzbass have inclined dip (according to Prof. V.F. Kolesnikov's classification – 15-45°). When mining such seams with backhoes there is a problem of non-digging at the bottom of the formed bench and leaving so-called «triangles» or, to be more precise, prisms of undercutting. To avoid this, it is often necessary to excavate the benches by layers, and the number of these layers in each specific case may be different. Besides, the question arises as to how to place dump trucks for loading and whether the excavator will be able to load them safely and productively in case of, for example, lower loading. Focusing first of all on the relevance of this question, let's consider working out of the inclined seam by excavators Komatsu PC1250 and Komatsu PC2000 as one of the most widespread models of this type of equipment, in complex with which dump trucks BelAZ-75302 with carrying capacity of 220 tons are used.

Введение. Одним из важных вопросов при открытой разработке угольных месторождений всегда является обеспечение повышения эффективности горного производства, которая достигается за счет разработки и внедрения ряда мероприятий, решающих технологические [1-5], организационные [6-9], экологические [10-14], экономические [15-17] и иные задачи. В связи с большим разнообразием выемочно-погрузочного (экскавационного) и транспортного оборудования, применяемого на разрезах в настоящее время, необходимо формировать сбалансированные сочетания имеющейся горной техники, обеспечивающие как высокопроизводительную и экономически эффективную работу предприятия, так и безопасность горных работ. При ведении добычных работ чаще всего используют слоевую разработку угля вследствие невозможности прочерпывания угольного пласта на всю высоту добычного уступа [18-22], которая практически всегда равна высоте вскрышного уступа (10, 12 и более метров).

Материалы и методы. К главным особенностям слоевой разработки уступов обратными гидравлическими лопатами относятся следующие:

- схемы разработки верхнего и нижнего слоев жестко взаимосвязаны (прежде всего геометрически):

- параметры верхнего слоя определяются условиями разработки нижнего слоя, а именно:

- а) условиями подъезда автотранспорта, что определяет тип (нижнюю или верхнюю) погрузки;

- б) условия погрузки (верхняя или нижняя) управляемы – проектировщик сам может создавать эти условия.

Достоинства и недостатки верхнего черпания:

- 1) большая продолжительность цикла и как следствие – меньшая производительность;

- 2) в условиях сложного забоя (совместная выемка угля и породы) при верхней погрузке желательно, чтобы автосамосвал не заезжал на уголь и там не грузился породой, т.к. осыпи породы при разработке вскрышной части заходки будут постоянно засорять уже зачищенный уголь, а повторная зачистка только увеличит его потери.

Таким образом, при верхней погрузке автосамосвал при разработке экскаватором сложного забоя должен устанавливаться на породе, для чего нужна свободная площадка достаточной ширины. Это возможно при отработке верхнего слоя, где такая площадка есть, а при отработке нижерасположенных слоев ее необходимо подготавливать.

Достоинства верхней погрузки:

- не надо опускать автосамосвал на высоту отрабатываемого слоя, а затем поднимать его на эту высоту обратно уже в груженом состоянии (увеличивать плечо откатки), вследствие чего возрастет расход топлива.

Основным достоинством нижней погрузки является высокая производительность.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлена схема отработки угольного пласта с углом падения 30° . Экскаватор установлен на расстоянии z не менее 1 м от верхней бровки добычного уступа. Добычные работы осуществляются вкрест простирания пласта. Так как высота уступа по проекту обычно должна составлять 10 м, то при данном угле падения пласта необходимо отрабатывать его, как минимум, двумя слоями по 5 метров. По кинематической схеме траектории движения ковша видно, что расположение автосамосвала ниже уровня стояния экскаватора не позволяет эффективно использовать вместимость кузова автосамосвала, поскольку разгрузка ковша будет осуществляться практически на уровне задней оси автосамосвала, а передняя часть кузова будет недогружена – радиус разгрузки составляет 13,1 метра (укороченная кривая на рис. 1). В данном случае целесообразнее располагать автосамосвал под погрузку на уровне стояния экскаватора, либо формировать на добычном уступе промежуточный подуступ (полку) и осуществлять работу с нижним и верхним черпанием.

Аналогичная проблема возникает и при нижней погрузке в данных условиях экскаватором Komatsu PC2000 (рис. 2). Расположение автосамосвалов ниже уровня стояния возможно только при погрузке с подустапа, так как радиус разгрузки экскаватора не позволит

загрузить их полностью, даже несмотря на то, что объем ковша экскаватора почти вдвое больше, чем у предыдущей модели (6,7-7,1 и 12-13,7 м³ соответственно).

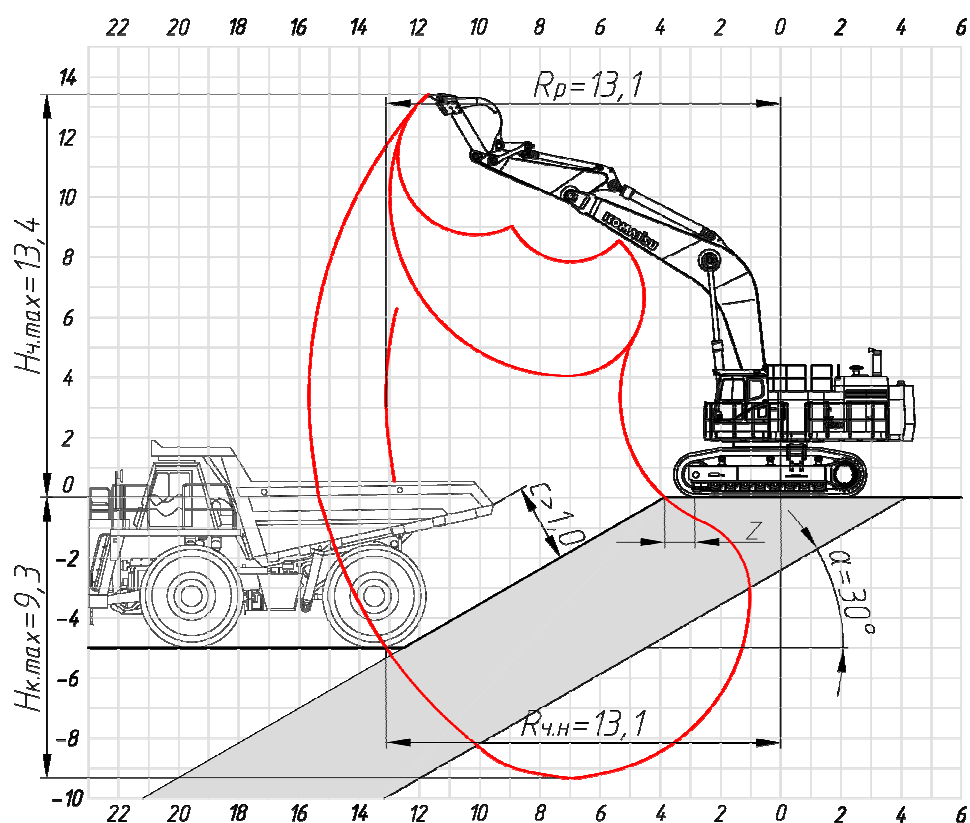


Рис. 1. Кинематическая схема работы обратной гидравлической лопаты Komatsu PC1250 с нижней погрузкой в автосамосвал БелАЗ 75302

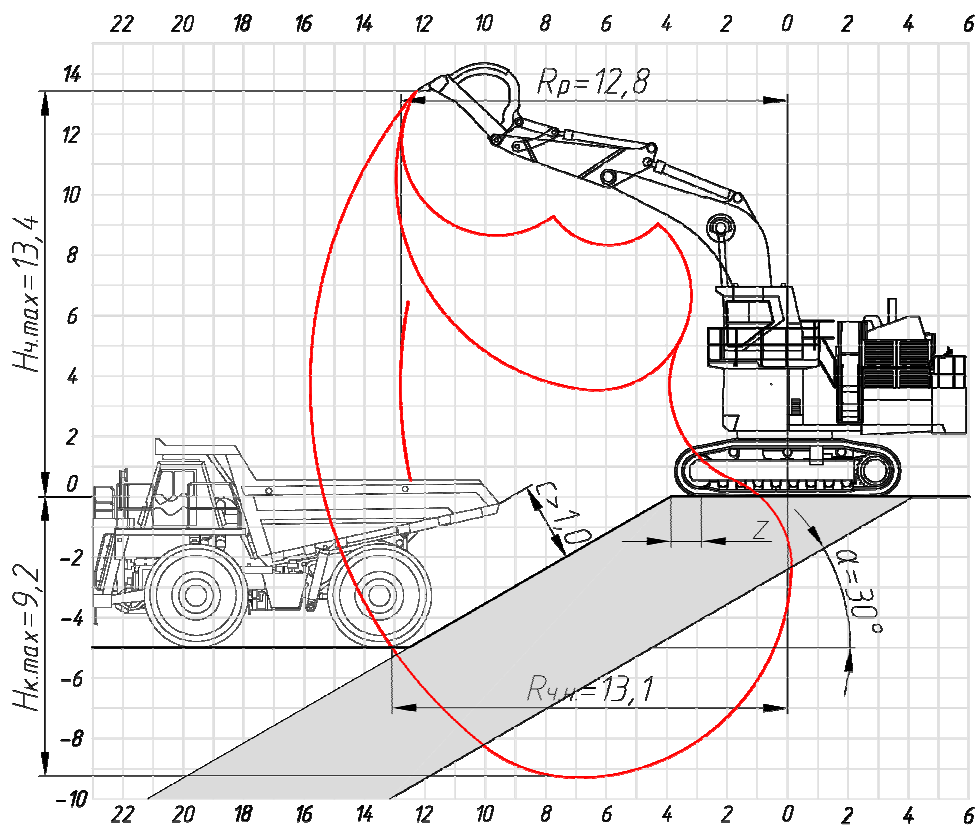


Рис. 2. Кинематическая схема работы обратной гидравлической лопаты Komatsu PC2000 с нижней погрузкой в автосамосвал БелАЗ 75302

Чтобы не усложнять технологию ведения добычных работ, но при этом повысить их эффективность, экскаваторы можно расположить на подступе, делящем пятиметровый уступ пополам (рис. 3, 4).

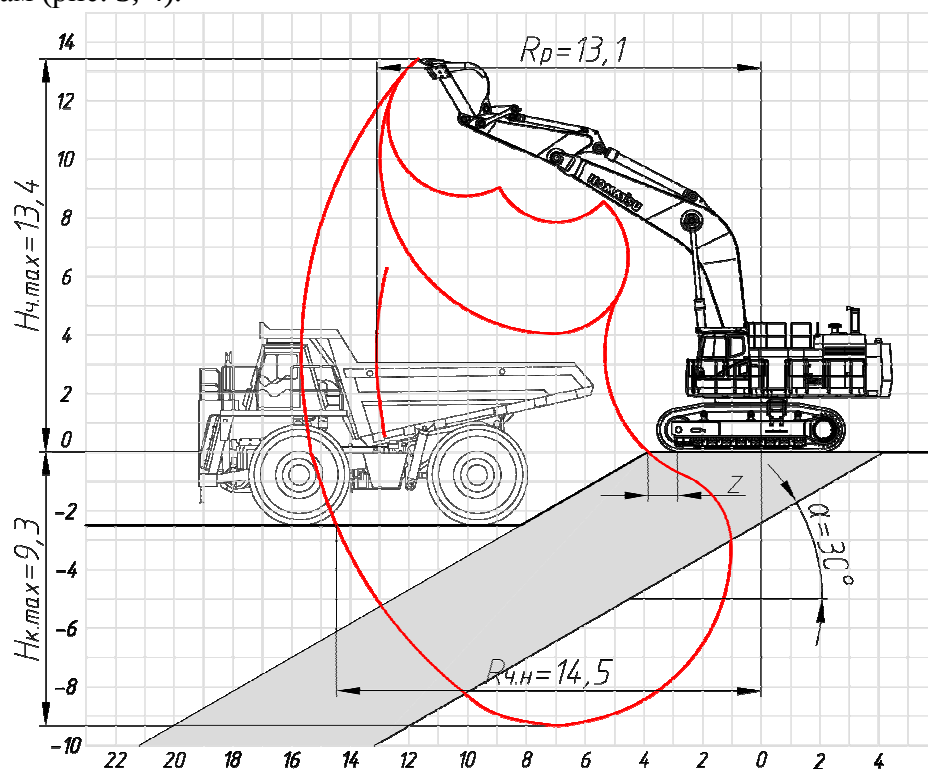


Рис. 3. Кинематическая схема работы обратной гидравлической лопаты Komatsu PC1250 при расположении на подступе с нижней погрузкой в автосамосвал БелАЗ 75302

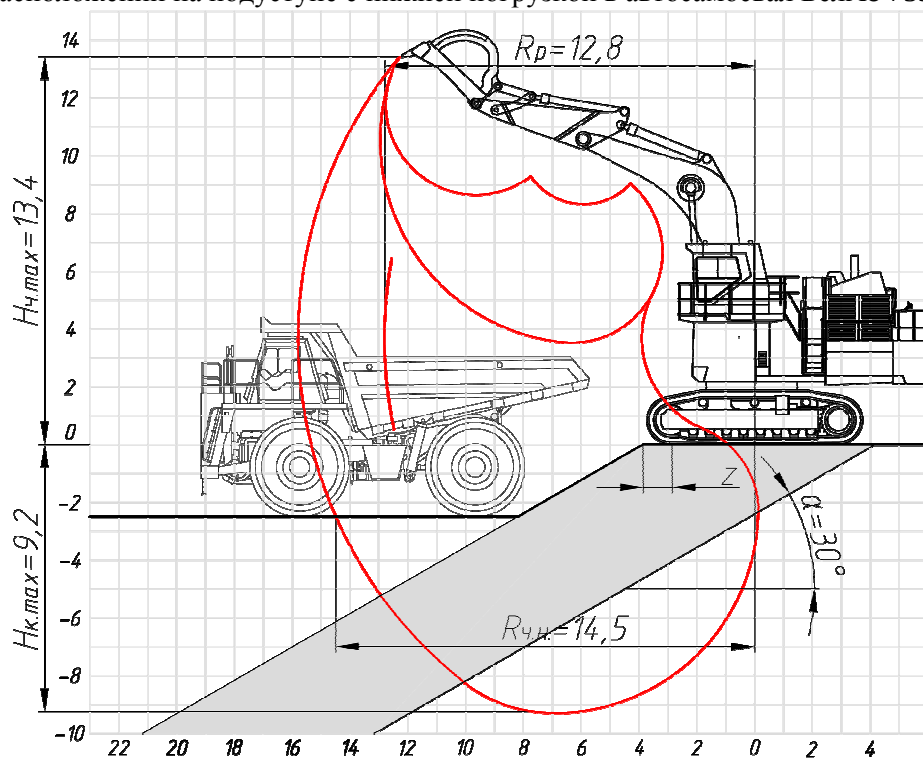


Рис. 4. Кинематическая схема работы обратной гидравлической лопаты Komatsu PC2000 при расположении на подступе с нижней погрузкой в автосамосвал БелАЗ 75302

При таком расположении обратной гидравлической лопаты загрузка автосамосвалов может производиться как ниже уровня установки экскаватора, так и выше его. Поскольку при различном расположении автосамосвалов под погрузку высота поднятия рукояти и угол

поворота к разгрузке будут различными, то и эксплуатационный цикл экскаватора также будет различаться. Для каждого такого случая были определены значения времени цикла, для чего использовались данные хронометражных наблюдений погрузки экскаватором. Поскольку упрощенная методика расчета производительности уже неоднократно опубликована как в справочной, так и в научной литературе [23-26], то приводим только результаты (табл. 1).

При нижнем черпании и разгрузке ниже уровня установки экскаватора высота подъема рукояти не превышала высоты 5 метров, а при разгрузке на уровне установки высота подъема достигала 7,5 метров.

Следует, однако, отметить следующую особенность автосамосвалов марки БелАЗ. Согласно официальному сайту производителя, самосвалы грузоподъемностью 220 тонн могут оснащаться кузовами шестью различными объемами: геометрический – 80; 89,5; 92; 100; 103; 117 м³, а с «шапкой» 2:1 – соответственно 112; 131; 130; 138; 141; 147 м³. Поэтому при расчете эффективной производительности необходимо рассчитывать производительность для всех возможных вместимостей кузова.

Табл. 1. К расчету производительности экскаватора Komatsu PC1250 (вместимость ковша 6,7 м³)

Показатели	угол поворота экскаватора, градус								
	45	60	70	80	90	100	110	120	140
Время цикла экскавации при нижней погрузке, с	31,0	34,37	37,25	39,18	39,65	42,0	46,0	49,52	57,25
Время загрузки автотранспорта, мин, при применении автосамосвалов с различной вместимостью кузова:									
вместимость кузова 112,0 м ³	8,78	9,74	10,55	11,1	11,23	11,9	13,03	14,03	16,22
вместимость кузова 131,0 м ³	10,33	11,45	12,42	13,06	13,22	14	15,33	16,51	19,08
вместимость кузова 138,0 м ³	10,85	12,03	13,04	13,71	13,88	14,7	16,1	17,33	20,04
вместимость кузова 141,0 м ³	10,85	12,03	13,04	13,71	13,88	14,7	16,1	17,33	20,04
вместимость кузова 147,0 м ³	11,37	12,6	13,66	14,37	14,54	15,4	16,87	18,16	20,99
*Число автосамосвалов, загружаемых в течение смены при нижней погрузке:									
вместимость кузова 112,0 м ³	59	54	50	48	48	45	42	39	34
вместимость кузова 131,0 м ³	51	47	43	41	41	39	36	33	29
вместимость кузова 138,0 м ³	49	45	41	40	39	37	34	32	28
вместимость кузова 141,0 м ³	49	45	41	40	39	37	34	32	28
вместимость кузова 147,0 м ³	47	43	40	38	37	36	33	30	26
Эффективная сменная производительность экскаватора при работе с нижней погрузкой, считая коэффициент разрыхления угля равным 1,35									
вместимость кузова 112,0 м ³	3720	3405	3153	3026	3026	2837	2648	2459	2144
вместимость кузова 131,0 м ³	3761	3466	3171	3024	3024	2876	2655	2434	2139
вместимость кузова 138,0 м ³	3807	3496	3185	3108	3030	2874	2641	2486	2175
вместимость кузова 141,0 м ³	3890	3572	3254	3175	3096	2937	2699	2540	2223
вместимость кузова 147,0 м ³	3890	3558	3310	3145	3062	2979	2731	2483	2152
Разница между максимальной и минимальной производительностью, %	4,57	4,49	4,97	3,93	1,19	5,01	3,13	0,98	0,37

* исходя из чистого времени работы экскаватора в смену – 600 минут, времени установки автосамосвала под погрузку – 1,1 минуты; времени на ожидание автосамосвала – 0,15 минуты.

Выводы

1. На величину максимальной производительности экскаваторов оказывают влияние угол поворота экскаватора на разгрузку; высота поднятия рукояти экскаватора на разгрузку

ковша в кузов автосамосвала; технические особенности рассматриваемых автосамосвалов; величина простоев экскаватора в ожидании транспортных средств под погрузку.

2. Величина угла поворота экскаватора на разгрузку напрямую связана с временем эксплуатационного цикла экскаватора. Поэтому для достижения максимальной производительности экскаватора необходимо располагать транспортные средства под погрузку таким образом, чтобы угол поворота на разгрузку был минимальным.

3. Высота поднятия рукояти экскаватора на разгрузку ковша, как и величина угла поворота, имеет прямую зависимость от времени цикла экскаватора. Чем меньше высота поднятия, тем меньше величина времени цикла экскавации. Поэтому для рассмотренных условий целесообразно осуществлять работу экскаватора с промежуточного подступа и производить погрузку в транспортные средства ниже уровня установки экскаватора.

4. Технические особенности рассматриваемых автосамосвалов заключаются в отношении объема кузова автосамосвала и его грузоподъемности. Для рассматриваемых моделей автосамосвалов грузоподъемностью 220 т и их модификаций с различной вместимостью кузова определено, что чем больше вместимость кузова, тем выше эффективная сменная производительность экскаватора. Это обусловлено тем, что чистое время работы экскаватора, затрачиваемое непосредственно на погрузку горной массы в автосамосвалы, находится в прямой зависимости от вместимости кузова автосамосвала. Однако следует отметить, что чем больше угол поворота экскаватора на разгрузку, тем разница становится меньше. Например, при среднем угле поворота 45° производительность экскаватора Komatsu PC1250 в комплексе с автосамосвалами вместимостью кузова 147 м^3 на 4,57% выше, чем при работе с автосамосвалами объемом кузова 112 м^3 ; если же средний угол поворота составляет 140° , то разница в производительности составляет всего 0,3%.

5. В рамках дальнейших исследований данного вопроса ведется работа по имитационному моделированию погрузки и разгрузки автосамосвалов с различной вместимостью грузовой платформы (кузова) методом дискретных элементов в ПО Rocky DEM [27], что позволит обосновать параметры грузовой платформы карьерного самосвала грузоподъемностью 220 т.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022г. №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.

Список литературы

1. Тюленева Е.А., Лесин Ю.В., Литвин Я.О. Исследование технологии отработки угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса простыми и сложными забоями // Техника и технология горного дела. 2019. – №1(4). – С. 35-49. – doi.org/10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
2. Милый С.М. Оценка технологий отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2020. – №1(8). – С. 45-73. – doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
3. Логинов Е.В., Вольф В.В. Исследование параметров технологических схем разработки месторождений песчано-гравийных смесей обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №8. – С. 71-84. – doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_71.
4. Литвин О.И., Литвин Я.О., Тюленев М.А., Марков С.О. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами // Горная промышленность. – 2021. – №6. – С. 76-81. – doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

5. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Анализ конструкций и обоснование применения грузовых платформ карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 тонн // *Техника и технология горного дела*. – 2021. – №3(14). – С. 61-78. – doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
6. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2015. – №14. – С. 82-91. – doi.org/10.15593/2224-9923/2015.14.9.
7. Kongar-Syuryun C.B., Aleksakhin A.V., Eliseeva E.N., Zhaglovskaya A.V., Klyuev R.V., Petrusevich D.A. Modern Technologies Providing a Full Cycle of Geo-Resources Development // *Resources*. 2023, vol. 12(4), article no. 50. doi.org/10.3390/resources12040050.
8. Гвоздкова Т.Н., Гвоздкова И.Д., Тюленева Т.А., Усова Е.О. Вопросы совершенствования производственного контроля угледобывающих предприятий с подземным способом добычи // *Уголь*. – 2020. – № 9(1134). – С. 4-9. – doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-4-9.
9. Behún M, Knežo D, Cehlár M, Knapčíková L, Behúnová A. Recent Application of Dijkstra's Algorithm in the Process of Production Planning // *Applied Sciences*. 2022, vol. 12(14), p. 7088. doi.org/10.3390/app12147088.
10. Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 134, p. 01019. doi.org/10.1051/e3sconf/201913401019.
11. Loginov E., Ligotsky D., Argimbaev K. Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1614, p. 012050. doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012050.
12. Makridin E., Markov S., Murko E., Lesin Yu., Hellmer M. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks // *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article no. 01056. doi.org/10.1051/e3sconf/202017401056.
13. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A., Mukhomedzyanov I. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, p. 02029. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.
14. 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 (научно-технический журнал)*. – 2020. – №12. – С. 89-102. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102.
15. 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, p. 01027. doi.org/10.1051/e3sconf/202017401027.
16. Логинов Е.В., Тюленева Т.А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // *Уголь*. – 2021. – №12(1149). – С. 6-10. – doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
17. Zavadsky J., Zavadska Z., Lisnik A. Design of Methodological Platform to Support the Integration of Standardized Quality Management Systems Applicable in the Mining Industry // *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, vol. 27(4), p. 1017. doi.org/10.46544/AMS.v27i4.15.
18. Frimpong Y.Hu, Inyang H. Dynamic Modeling of Hydraulic Shovel Excavators for Geomaterials // *International Journal of Geomechanics*. 2008, vol. 8(1), p. 20.
19. Koivo A.J., Thoma M., Kocaoglan E., Andrade-Cetto J. Modeling and control of excavator dynamics during digging operation // *Journal of Aerospace Engineering*. 1996, vol. 9(1), p. 10.
20. Vaha P.K., Shibniewski M.J. Dynamic model of excavator // *Journal of Aerospace Engineering*. 1190, vol. 6(2), p. 148.
21. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multi-bench retained excavations // *Acta Geotechnica*. 2020, vol. 15(9), p. 2691. doi.org/10.1007/s11440-020-00947-3.
22. Conigliaro R.A., Kerzhner A.A., Paredis C.J.J. Model-Based Optimization of a Hydraulic Backhoe using Multi-Attribute Utility Theory // *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009, vol. 2(1), p. 0565. doi.org/10.4271/2009-01-0565.
23. Литвин О.И., Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Стенин Д.В., Тюленев М.А. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов // *Горная промышленность*. – 2022. – №5. – С. 112-120. – doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
24. Nunnally S.W. Construction methods and management. – Pearson Prentice Hall, 2007. – 575 p.
25. Chen W.F., Richard Liew J.Y. (eds) The civil engineering handbook. – CRC Press, 2002. – 2904 p.
26. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. Open Pit Mine Planning & Design. – CRC Press; Taylor & Francis, 2013. – 1306 p.
27. Дубинкин Д.М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2022. – №3(161). – С. 31-49. – doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.

References

1. 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(4), pp. 35-49. doi.org/10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
2. 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(8), pp. 45-73. doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.
3. Loginov E.V., Volf V.V. Parameters of flow charts for hydraulic backhoe excavation of sand-and-gravel deposits // *Mining information and analytical bulletin*. 2022, vol. 8, pp. 71-82. doi.org/10.25018/0236_1493_2022_8_0_71.
4. Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes // *Russian Mining Industry*. 2021, vol. 6, pp. 76-81. doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
5. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Analysis of constructions and justification for the use of loading platforms for 90-ton quarry dump trucks // *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2021, no. 3(14), pp. 61-78. doi.org/10.26730/2618-7434-2021-3-61-78.
6. Mikhailov A.V., Ivanov S.L., Gabov V.V. Creation and efficient operation of machine fleet in peat-processing companies // *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*. 2015, vol. 14, p. 82. doi.org/10.15593/2224-9923/2015.14.9.
7. Kongar-Syuryun C.B., Aleksakhin A.V., Eliseeva E.N., Zhaglovskaya A.V., Klyuev R.V., Petrusevich D.A. Modern Technologies Providing a Full Cycle of Geo-Resources Development // *Resources*. 2023, vol. 12(4), article no. 50. doi.org/10.3390/resources12040050.
8. Gvozdikova T.N., Gvozdikova I.D., Tyuleneva T.A., Usova E.O. Issues of improving production control of underground coal mining enterprises // *Ugol'*. 2020, vol. 9, pp. 4-9. doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-4-9.
9. Behún M, Knežo D, Cehlár M, Knapčíková L, Behúnová A. Recent Application of Dijkstra's Algorithm in the Process of Production Planning // *Applied Sciences*. 2022, vol. 12(14), p. 7088. doi.org/10.3390/app12147088.
10. Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 134, p. 01019. doi.org/10.1051/e3sconf/201913401019.
11. Loginov E., Ligotsky D., Argimbaev K. Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, vol. 1614, p. 012050. doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012050.
12. Makridin E., Markov S., Murko E., Lesin Yu., Hellmer M. Theoretical Background of Quarry Wastewater Filtering Through Filters of Coarse-Grained Blasted Overburden Rocks // *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 174, article no. 01056. doi.org/10.1051/e3sconf/202017401056.
13. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A., Mukhomedzyanov I. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, p. 02029. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.
14. 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 information and analytical bulletin*. 2020, vol. 12, pp. 89-102. doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-89-102.
15. 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, p. 01027. doi.org/10.1051/e3sconf/202017401027.
16. Loginov E.V., Tyuleneva T.A., Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes // *Ugol'*. 2021, vol. 12, pp. 6-10. doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
17. Zavadsky J., Zavadska Z., Lisnik A. Design of Methodological Platform to Support the Integration of Standardized Quality Management Systems Applicable in the Mining Industry // *Acta Montanistica Slovaca*. 2022, vol. 27(4), p. 1017. doi.org/10.46544/AMS.v27i4.15.
18. Frimpong Y.Hu, Inyang H. Dynamic Modeling of Hydraulic Shovel Excavators for Geomaterials // *International Journal of Geomechanics*. 2008, vol. 8(1), p. 20.
19. Koivo A.J., Thoma M., Kocaoglan E., Andrade-Cetto J. Modeling and control of excavator dynamics during digging operation // *Journal of Aerospace Engineering*. 1996, vol. 9(1), p. 10.
20. Vaha P.K., Shibniewski M.J. Dynamic model of excavator // *Journal of Aerospace Engineering*. 1190, vol. 6(2), p. 148.
21. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multi-bench retained excavations // *Acta Geotechnica*. 2020, vol. 15(9), p. 2691. doi.org/10.1007/s11440-020-00947-3.
22. Conigliaro R.A., Kerzhner A.A., Paredis C.J.J. Model-Based Optimization of a Hydraulic Backhoe using Multi-Attribute Utility Theory // *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009, vol. 2(1), p. 0565. doi.org/10.4271/2009-01-0565.
23. Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V., Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of open-pit hydraulic shovels and backhoes // *Russian Mining Industry*. 2022, vol. 5, pp. 112-120. doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.

28. Nunnally S.W. Construction methods and management. – Pearson Prentice Hall, 2007. – 575 p.
29. Chen W.F., Richard Liew J.Y. (eds) The civil engineering handbook. – CRC Press, 2002. – 2904 p.
24. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. Open Pit Mine Planning & Design. – CRC Press; Taylor & Francis, 2013. – 1306 p.
25. Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 3(161), pp. 31-49. doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хорешок Алексей Алексеевич – доктор технических наук, директор Горного института	Alexey Alexeevich Khoreshok – doctor of technical sciences, director of Mining institute
Данилов Сергей Николаевич – начальник горного участка	Danilov Sergey Nikolaevich – mine section foreman
Дубинкин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, руководитель научного центра «Цифровые технологии»	Dmitry Mikhailovich Dubinkin – candidate of technical sciences, associated professor, chief of research center of Digital technologies
Марков Сергей Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры открытых горных работ	Sergey Olegovich Markov – candidate of technical sciences, associated professor of Department of open pit mining
Тюленев Максим Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой открытых горных работ	Maxim Anatolievich Tyulenev – candidate of technical sciences, associated professor, head of Department of open pit mining
tma.geolog@kuzstu.ru	

Получена 12.10.2023