

К вопросу применения горных комбайнов типа KSM при отработке Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения

Д.В. Хосоев ✉, С.В. Панишев, В.В. Киселев, А.М. Бураков

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск,
Российская Федерация
✉ hosoev70@mail.ru

Резюме: Изложены результаты исследований, основной целью которых является повышение рентабельности Эльгинского разреза, обрабатывающего одноименное каменноугольное месторождение, находящееся в криолитозоне, путем внедрения поточной технологии с использованием комбайнов, позволяющих вести селективную выемку породных пропластков и угольных пачек, снижая их разубоживание, взамен циклической с применением буровзрывных работ. Представлены иллюстрации и подробные сведения физико-географического и геологического характера о районе расположения месторождения, разведанности, геологического строения, запасам, климатические, геокриологические и горнотехнические условия обрабатываемого месторождения, физико-механические свойства вскрышных пород и углей, технологическая схема введения горных работ на разрезе. Приведены основные горно-геологические показатели обрабатываемого Северо-Западного участка месторождения; определена техническая производительность предлагаемого горного комбайна. В графической форме представлены расчетные качественные показатели добычи угля: потерь, разубоживания и зольности при валовой и селективной отработке отдельных пластов. Подчеркивается, что самые высокие показатели потерь и разубоживания добываемых углей фиксируются при отработке пласта с наиболее сложным строением. Полученные результаты позволят обосновать оптимальные технологические параметры применения поточной технологии на базе комбайнов KSM при отработке сложноструктурных пластов различных участков Эльгинского месторождения, что в конечном итоге повысит рентабельность горнодобывающего предприятия. На основании проведенных исследований сделано заключение об эффективности применения горных комбайнов для отработки месторождения.

Ключевые слова: горные комбайны, вскрышные породы, прочность пород, прочность углей, угольные пласты, криолитозона

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №0297-2021-0020, ЕГИСУ НИОКТР №122011800086-1) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Для цитирования: Хосоев Д.В., Панишев С.В., Киселев В.В., Бураков А.М. К вопросу применения горных комбайнов типа KSM при отработке Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения. *Горная промышленность*. 2024;(1):138–143. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-138-143>

On application of the KSM-type continuous surface miners in developing the North-West section of the Elga coal deposit

D.V. Hosoev ✉, S.V. Panishev, V.V. Kiselev, A.M. Burakov

Institute of Mining of the North N.V. Cherskiy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉ hosoev70@mail.ru

Abstract: The paper presents the results of research that aims to increase the cost efficiency of the Elga open pit mine, which develops a coal deposit of the same name located in the permafrost zone, by introducing the continuous flow process technology with the use of surface miners that allow selective excavation of rock seams and plies, thereby reducing their dilution, instead of the cyclic method based on drilling and blasting operations. Illustrations and detailed information are provided on the physical, geographical and geological features of the field site, the degree of its exploration, the geological structure, reserves, climatic, geocryological and mining conditions of the deposit, physical and mechanical properties of the overburden rocks and coals, a technological scheme of the mining operations at the strip mine. The key mining and geological indicators of the North-West section of the developed deposit are given; and the technical capacity of the proposed surface miner is defined. Estimated qualitative indicators of coal production are presented in the graphic form, including the losses, dilution and ash content at the bulk and selective mining of individual seams. It is emphasized that the highest rates of losses and dilution of the mined coal are observed when mining a seam with the most complex structure. The obtained results will allow to justify the optimal technological parameters to apply the continuous flow process technology based on application of the KSM-type surface miners

when developing complex seams in different areas of the Elga deposit, which will ultimately increase the cost efficiency of the mining company. Based on the performed researches, a conclusion is made on the efficiency of using surface miners for development of the deposit.

Keywords: surface miners, overburden, rock strength, coal strength, coal seams, permafrost zone

Acknowledgements: The study was carried out within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. 0297-2021-0020, EGISU NIOCTR No.122011800086-1) using instruments that belong to the Shared core facilities of the Federal Research Center, Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Hosoev D.V., Panishev S.V., Kiselev V.V., Burakov A.M. On application of the KSM-type continuous surface miners in developing the North-West section of the Elga coal deposit. *Russian Mining Industry*. 2024;(1):138–143. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-1-138-143>

Введение

В Дальневосточном регионе РФ, обладающем богатым минерально-сырьевым потенциалом, важное место в экономике занимает горнодобывающая промышленность. В то же время освоение горнодобывающими предприятиями месторождений, особенно находящихся в криолитозоне, затруднено по целому ряду причин различного характера. Одним из путей обеспечения их рентабельности может быть внедрение высокопроизводительной техники и эффективных технологий ведения всех видов горных работ.

В настоящее время на юге Якутии в Токинском угольном районе Южно-Якутского бассейна производится разработка Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения (СЗУЭКМ) открытым способом с применением буровзрывной технологии с годовой добычей свыше 20 млн т. В 2020 г. ООО «СИБГЕОПРОЕКТ» подготовлен технический проект разработки месторождения ООО «Эльгауголь». Основной целью проекта была разработка технологических решений по отработке второй очереди ЭКМ с достижением проектной мощности 45 млн т угля в год в период с 2024 по 2070 г. Намечаемый к освоению Северо-Западный участок ЭКМ представляет собой горный массив пологозалегающих (2–10°) полускальных пород шириной от 5 до 8 км, глубиной до 480 м, вмещающий 24 угольных пласта, вытянутых в северо-западном направлении на 16 км.

Балансовые запасы по чистым угольным пачкам в технических границах отработки разреза составляют 2 005 166 тыс. т, а с учетом 100%-ного засорения в технических границах – 2 287 368 тыс. т. Промышленные запасы угля по чистым угольным пачкам согласно выбранному варианту отработки составляют 1 870 745 тыс. т. Запасы с учетом 100%-ного засорения составляют 2 152 947 тыс. т. Суммарный объем вскрыши составит 9 541 177 тыс. м³. Средний коэффициент вскрыши – 4,4 м³/т, срок разработки участка – 51 год.

Климатические, геокриологические, горно-геологические и горнотехнические условия участка СЗУЭКМ характеризуются целым рядом существенных особенностей, среди них следует отметить следующие: суровые климатические условия; наличие многолетнемерзлых вскрышных пород; резко-пересеченный рельеф земной поверхности с перепадом отметок до 350 м; пологие углы падения угольной мульды на флангах, не превышающие 3–5°; наличие нарушений типа взброса с амплитудами смещ(щ)ения до 55 м; наличие большого количества маломощных угольных пластов сложного строения (с учетом расщеплений

– 24 пласта); сложное строение пластов с наличием прослоек и многоазовых расщеплений с изменчивой мощностью междупластий¹.

Результаты и обсуждение

В настоящее время на месторождении ведутся добычные работы в границах СЗУ участка с отработкой по углубочно-сплошной, продольной, однобортовой системе, нижний горизонт работ достигает +1090–1130 м (абс.). Эта система разработки является оптимальной при существующих горно-геологических условиях, обеспечивает необходимый резерв фронта ведения горных работ. На рис. 1 показан порядок отработки СЗУ и направления грузопотоков ЭКМ.



Рис. 1
Порядок отработки Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения и направления грузопотоков

Источник: Технический проект разработки Эльгинского месторождения каменного угля ООО «Эльгауголь». Вторая очередь, производственная мощность 45 000 тыс. т. Проектная документация. Кемерово, 2020.

Fig. 1
Order of mining the North-West section of the Elga coal deposit and directions of the haulage flows

Source: Technical project of mining the Elga coal deposit, Elgaugol LLC. The second phase, the production capacity of 45 000 thousand tons. Project documentation. Kemerovo, 2020.

¹ Отчет о результатах детальной разведки Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения в Токинском районе Южно-Якутского бассейна за 1991–1996 гг.: в 3-х т. Т. 1. Кн. 2.

Размещение вскрышных пород с разреза предусматривается во внешний Укикитский отвал, располагающийся севернее существующей карьерной выемки, а также во внутренний отвал. На участке также располагается внешний отвал Северный, в который в настоящее время складированы отходы продуктов углеобогащения с угольного комплекса. Транспортирование угля осуществляется на угольный комплекс, расположенный в 2 км к северо-востоку от существующей карьерной выемки. Горные работы ведутся в юго-восточном направлении с планомерным достижением предельных границ.

Вскрышные и добычные работы на разрезе проводятся буровзрывным способом с бурением взрывных скважин станками вращательного бурения Atlas Copco и Sandvik (PV-271, DML, DM45 и D50KS). Выемка горной массы осуществляется гидравлическими экскаваторами Komatsu PC4000-6, PC3000-6, PC1250SP-7, Hitachi EX1200-6, ZX870LC-5G; мехлопатами ЭКГ-18 (20), драглайном ЭШ-20.90С. На добычных работах также задействованы фронтальные погрузчики Komatsu WA-500 (600).

Транспортировка вскрышных пород производится автосамосвалами БелАЗ-7555В, 75583, 75306, Komatsu HD785-7, HD1500-8, Terex MT3700AC грузоподъемностью от 55 до 220 т. Для транспортировки угля используются автосамосвалы БелАЗ-75583, Komatsu HD785-7 и HD1500-8, грузоподъемностью 90, 91 и 141 т соответственно².

Необходимо отметить, что в настоящее время за рубежом, в странах СНГ и России при открытой разработке пластовых месторождений наибольшее распространение получил способ непрерывного послойного фрезерования углей и пород с использованием горных комбайнов. Успешно внедряются поточные технологии на базе горных комбайнов: Виртген, VASM и KSM, которые имеют высокое усилие резания, что позволяет разрабатывать различные типы геоматериалов без предварительного разупрочнения. При благоприятных горнотехнических условиях горные комбайны могут разрабатывать породы прочностью не более 120 МПа. При их применении возможно вести селективную добычу углей в том числе тонких и весьма тонких пластов и слоев, а также породных пропластков толщиной от 0,1 м и выше.

Таблица 1
Техническая характеристика комбайнов фирмы «Крупп Индустриетехник»

Table 1
Technical characteristics of Krupp Industrietechnik miners

Показатели	Марка комбайна			
	KSM-1000	KSM-2000	KSM-2000K	KSM-4000
Номинальная производительность в плотной массе, м ³ /ч	700	1400	1400	2800
Диаметр рабочего органа, м	3,2	3,55	3,55	3,85
Наибольшая высота рабатываемого слоя, м	2,2	2,5	2,5	2,75
Ширина захвата (полосы), м	4,35	5,6	5,6	7,1
Скорость хода при номинальной производительности, м/мин	1,2	1,8	1,8	2,4
Масса машины, т	120	190	210	380
Преодолеваемый продольный уклон, град				
при работе	7	–	7	–
при движении	10	–	10	–
Возможный поперечный уклон при работе с передвижением, град	6	–	6	–

² Технический проект разработки Эльгинского месторождения каменно-уголя ООО «Эльгауголь». Вторая очередь, производственная мощность 45 000 тыс. т. Проектная документация. Кемерово; 2020.

Из горной практики известно, что для производства валовых вскрышных работ на разрезах с производительностью от 700 до 3000 м³/ч в целике или 1250–4000 м³/ч по рыхлой массе наиболее приемлемым видом выемочно-погрузочной техники являются машины типа KSM («KRUPP Surface Miner») [1; 2].

За рубежом накоплен достаточно большой опыт успешного практического применения таких комбайнов на добыче углей, строительных материалов, ведении вскрышных работ.

На отечественных предприятиях, в частности, на Ургальском угольном разрезе комбайном KSM-4000 обеспечивалась непрерывная разработка углей крепостью $f = 3-4$,

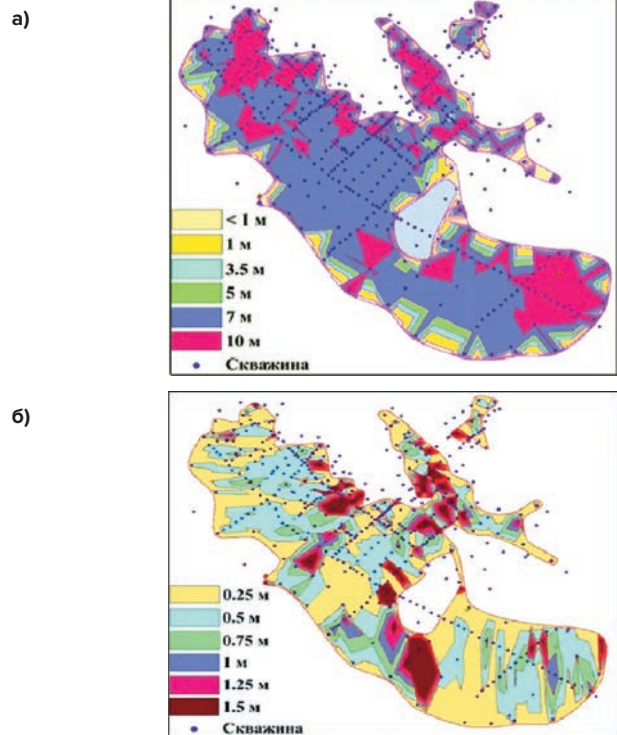


Рис. 2
Изолинии мощности (а) и суммарной мощности пропластков (б) по пласту Н₁₆ Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения

Fig. 2
Isolines of thickness (a) and total thickness of interstratified beds (b) for H₁₆ seam of the North-West section of the Elga coal deposit

Таблица 2
Основные физико-механические свойства углей и вскрышных пород Северо-Западного участка ЭКМ

Table 2
The main physical and mechanical properties of coals and overburden rocks of the North-West section of the Elga coal deposit

Наименование пород	Влажность, %	Сцепление, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Объемная масса, т/м ³
Конгломераты	0,78	11,5	41,5	2,67
Песчаники кз	0,69	14,3	65,2	2,59
Песчаники сз	0,80	19,6	68,6	2,62
Песчаники мз	0,85	21,9	69,2	2,66
Алевролиты	1,5	17,5	66,0	2,64
Угли	1,7	1,7	7,6	1,38

ное строение и включающих от 1–2 до 10–12 породных прослоев. По ряду пластов наблюдается расщепление на две или три самостоятельные пачки. На рис. 2 на примере пласта Н₁₆ показаны изолинии мощности и суммарные мощности пропластков.

В табл. 2 представлены основные физико-механические свойства углей и вскрышных пород Северо-Западного участка ЭКМ³.

Табличные данные свидетельствуют, что наименьшую прочность имеют конгломераты, затем песчаники крупнозернистые, алевролиты, песчаники среднезернистые, а наибольшую – песчаники мелкозернистые.

Угли участка обладают незначительной влажностью – 1,7% и низкой прочностью, среднее сопротивление их сжатию составляет 7,6 МПа. Породные прослои менее прочные по сравнению с вскрышными породами и характеризуются сопротивлением сжатию в пределах от 10–20 МПа до 48–55 МПа.

В работе [4] приведены расчетные значения производительности комбайна КСМ-2000Р при различных прочностных характеристиках пород и углей через энергосиловые показатели. Результаты расчетов показали, что часовая техническая производительность КСМ-2000Р по пяти типам пород может соответственно составить: по конгломератам – 420 м³/ч, песчаникам крупнозернистым – 610 м³/ч, песчаникам среднезернистым – 630 м³/ч, песчаникам мелкозернистым – 540 м³/ч, алевролитам – 900 м³/ч и углю – 1400 м³/ч.

В работе [5] для селективной разработки сложных угольных пластов роторными экскаваторами предложена методика расчета снижения потерь угля и уменьшения их зольности на основе разбиения пласта на рабочие пачки с последующей раздельной выемкой угля и породных прослоев с установленной мощностью.

Для иллюстрации возможности применения данного подхода для обозначенных выше целей на рис. 3 показаны схемы разделения угольных пластов Н₁₅ на рабочие пачки при селективной разработке комбайнами КСМ-2000Р в зависимости от толщины угольных и породных прослоев.

Мощность пласта Н₁₅ на участке изменяется в пределах 1,2–8,38 м при среднем значении 4,8 м, он имеет сложное строение, количество породных прослоев может достигать от 0 до 13. Угольный пласт Н₁₅ с породными прослоями толщиной 20 см и больше требует селективной отработки. Породные прослои в угольном пласте общей мощностью до 10 см возможно обрабатывать валовым способом.

Была проведена оценка эффективности и качественных показателей селективной разработки углей Эльгинского месторождения при традиционной – валовой технологии и селективной – с применением комбайнов. С использованием ГГИС «MineFrame» (ГоИ КНЦ РАН) выполнен расчет параметров зольности, разубоживания и потерь угля для пяти вариантов разработки основных сложноструктурных угольных пластов У₅, У₄, Н₁₆, и Н₁₅ при валовой и селективной отработке [6]. В варианте 1 рассматривалась

3 Отчет о научно-исследовательской работе 0-92-11 Обосновать концепцию разработки Эльгинского каменноугольного месторождения открыто-подземным способом, отвечающую требованиям охраны окружающей среды, экономичности и эффективности горного производства. Якутск 1993 г.

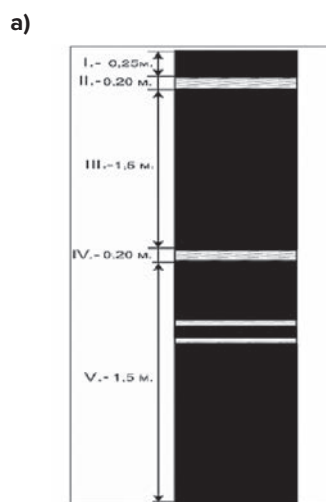


Рис. 3
Схема разделения угольных пластов Н₁₅ Эльгинского каменноугольного месторождения на рабочие пачки при отработке комбайнами КСМ-2000Р по скважинам: а – скв.1023, б – скв. 1159

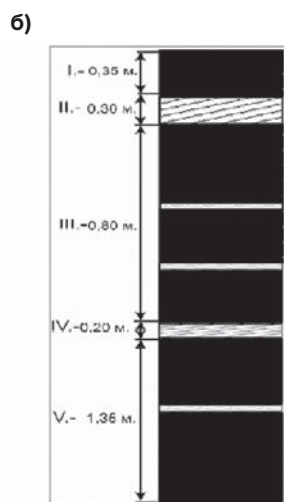


Fig. 3
A schematic diagram of dividing N₁₅ coal seams of the Elga coal deposit into working plies when mining with the KSM-2000R miners by boreholes: а – Borehole 1023, б – Borehole 1159

а также песчаников крепостью $f \leq 6$ (по шкале проф. М.М. Протождяконова $f = 6$) с производительностью до 26,9 тыс. м³/смену.

Комбайны КСМ-2000Р нашли применение в Узбекистане на Джерой-Сардинском месторождении фосфатов на отработке междупластий с коэффициентом крепости 4–5 по шкале М.М. Протождяконова. Максимальная возможная годовая производительность комбайна более 6 млн м³.

Вышеназванные комбайны, кроме повышения полноты выемки полезного ископаемого, отличаются невысокими энергозатратами на добычу по сравнению с циклической технологией, обеспечивают низкий уровень загрязнений окружающей среды пылевыми, газообразными и шумовыми выбросами. В связи с вышеизложенным, по нашему мнению, горные комбайны рационально применять на угольных разрезах криолитозоны, в частности, при отработке ЭКМ.

На Северо-Западном участке 75% запасов участка приходится на четыре пласта – У₅, У₄, Н₁₆ и Н₁₅, имеющих слож-

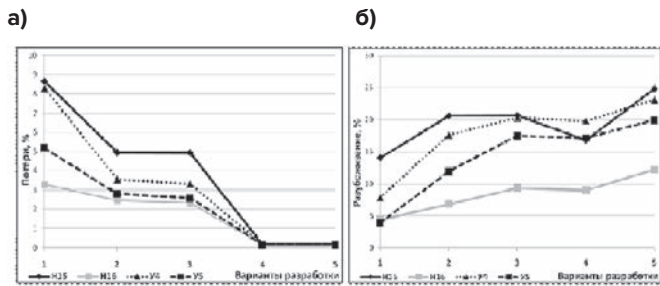


Рис. 4
Потери и разубоживание угля по пластам при различных вариантах разработки Северо-Западного участка Эльгинского каменного угля: а – потери, б – разубоживание

Fig. 4
Coal losses and dilution by seams at different mining options of the North-West section of the Elga coal deposit: а – losses, б – dilution

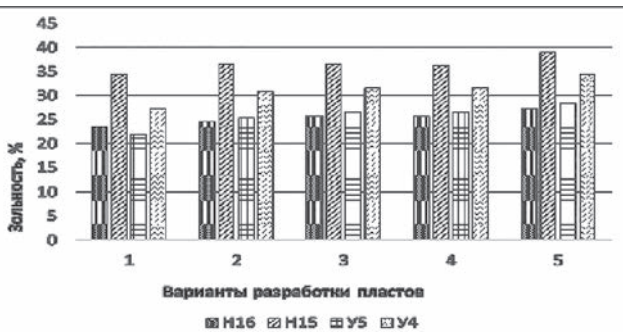


Рис. 5
Изменение зольности угля при различных вариантах разработки Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения

Fig. 5
Changes in the coal ash content at different mining options of the North-West section of the Elga coal deposit

селективная разработка, а в остальных (со второго по пятый) – валовая.

Анализ полученных значений, представленных в графической форме на рис. 4, 5, показал, что наименьшие потери угля наблюдаются при четвертом и пятом вариантах, при валовой разработке (рис. 4, а), а наименьшее разубоживание происходит при селективной отработке пластов (рис. 4, б), соответственно, при этом варианте зольность самая низкая (рис. 5).

При валовой разработке пластов показатели потерь изменяются от 0,15 (за счет разлета кусков угля при ведении

БВР) до 4,9%, а при селективной от 3,3 (H₁₆) до 8,7% (H₁₅). Значения разубоживания угля по всем вариантам и пластам изменяются от 3,9 до 14% (селективная разработка), от 6,8 до 24,8% (валовая разработка). При этом наибольшие показатели потерь и разубоживания фиксируются при отработке пласта H₁₅, характеризующегося наиболее сложным строением.

Установлено, что зольность угля по пластам при всех пяти вариантах изменяется от 21,9 до 34,3% (селективная) и от 24,7 до 39% (валовая) (см. рис. 5), наименьшая зольность фиксируется по пласту Y₅, а наибольшая в пятом варианте при валовой выемке, в связи с разубоживанием за счет прирезки пустых пород в кровле и почве пласта и внутрипластовых породных прослоев по пласту H₁₅.

Проведенные исследования показали, что несмотря на меньшие потери при валовой отработке пластов начиная с 2-го по 5-й вариант (в среднем 1,7%), по сравнению с селективной разработкой, значительно (в 1,5–5,1 раза) увеличивается разубоживание угля, что приводит к росту его зольности по пластам: Y₅ на 3%, H₁₆ на 2,6%, Y₄ на 3,6% и H₁₅ на 2,5%.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили, что по критерию прочности (<60 МПа) до 65% вскрышных пород Северо-Западного участка ЭКМ могут быть отработаны по безвзрывной технологии с применением комбайнов типа KSM, при этом возможно достижение его производительности, сопоставимой с проектной, при разработке пород повышенной прочности производительность снизится.

Расчетным путем определены значения зольности, потерь и разубоживания для пяти вариантов разработки сложноструктурных угольных пластов Северо-Западного участка ЭКМ с применением горных комбайнов послойного фрезерования при различных физико-технических параметрах вынимаемого слоя.

Установлено, что разубоживание угля по всем пластам при всех пяти вариантах изменяется от 3,9 до 14% (селективная разработка), от 6,8 до 24,8% (валовая разработка); зольность угля по пластам изменяется от 21,9 до 34,3% (селективная разработка), от 24,7 до 39% (валовая выемка); тем самым подтверждается преимущество селективной разработки, которая обеспечивает снижение зольности угля на 3,7% (пласт H₁₆), 4,7% (H₁₅), 6,4% (Y₅), 7,2% (Y₄).

Полученные результаты имеют, по нашему мнению, важное значение для практики и будут способствовать при внедрении ускоренной адаптации поточных технологий ведения горных работ с использованием горных комбайнов к реальным горно-геологическим условиям разрабатываемых участков ЭКМ, а также снижению уровня потерь угля и его разубоживания в процессе добычи, совершенствованию технологических операций, что в конечном итоге повысит рентабельность горнодобывающего предприятия.

Список литературы / References

1. Опарин В.Н. *Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2007. 336 с.
Oparin V.N. *Blastless technologies of surface mining of solid minerals*. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2007, 336 p. (In Russ.).

2. Лабутин В.Н. Безвзрывная технология добычи полезных ископаемых: состояние и перспективы. Оценка эффективности применения различных способов разрушения в технологиях открытых горных работ. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2004;(2):66–74.
Labutin V.N., Mattis A.R., Zaitsev G.D., Cheskidov V.I. Blast-free technology of mineral mining: state and prospects. part ii: estimation of the efficiency of various failure methods in opencast mining technologies. *Journal of Mining Science*. 2004;40(2):173–181. <https://doi.org/10.1023/B:JOMI.0000047861.58997.fb>
3. Цирик Д., Ниemanн-Делиус Ц. Решение проблем окружающей среды угольных разрезов с помощью добычных комбайнов фирмы KRUPP. *Горная промышленность*. 1995;(1):29–35.
Zirik D., Niemann-Delius C. Solution of environmental challenges of coal mines using KRUPP surface miners. *Russian Mining Industry*. 1995;(1):29–35. (In Russ.)
4. Ермаков С.А., Хосоев Д.В. Оценка производительности комбайнов КСМ-2000Р при безвзрывной выемке горных пород и углей Эльгинского месторождения с учетом их физико-химического разупрочнения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(4):88–93.
Ermakov S.A., Hosoev D.V. Assessment of the KSM-2000R surface miner performance in blastless mining of rocks and coals at the Elga deposit with account of their physical and chemical strength degradation.. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2008;(4):88–93. (In Russ.)
5. Новиков В.В. Исследование способов раздельной выемки угля из сложных пластов роторными экскаваторами: дис. ... канд. техн. наук. Москва; 1970.
Novikov V.V. *Research into methods of separate excavation of coal from complex seams using rotary excavators, Cand. Sci. (Eng.) diss.*. Moscow, 1970. (In Russ.)
6. Ермаков С.А., Хосоев Д.В., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А. Оценка Разубоживания и потерь угля при валовой и селективной разработке сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения. *Горная промышленность*. 2012;(6):50–52.
Ermakov S.A., Khosoev D.V., Gavrilov V.L., Khoютanov E.A. Assessment of coal dilution and losses in bulk and selective mining of Elga deposit coal seams of complicated structure. *Russian Mining Industry*. 2012;(6):50–52. (In Russ.)

Информация об авторах

Хосоев Доржо Владимирович – ведущий инженер, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: hosoev70@mail.ru

Панишев Сергей Викторович – ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация; e-mail: bsdpsv@mail.ru

Киселев Валерий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

Бураков Александр Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Российская Федерация

Information about the authors

Dorzho V. Hosoev – Leading Engineer, Institute of Mining of the North N.V. Cherskiy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: hosoev70@mail.ru

Sergey V. Panishev – Leading Researcher, Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: bsdpsv@mail.ru

Valery V. Kiselev – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

Alexander M. Burakov – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Mining of the North named after N.V. Chersky of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.10.2023

Поступила после рецензирования: 22.01.2024

Принята к публикации: 23.01.2024

Article info

Received: 18.10.2023

Revised: 22.01.2024

Accepted: 23.01.2024