

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ КОМБАЙНОВ ТИПА КСМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ УЧАСТКЕ ЭЛЬГИНСКОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Хосоев Д.В., Киселев В.В.

*Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск*

Ключевые слова: каменноугольные месторождения, угольные пласты, усилие резания, вскрышные породы, карьерный комбайн, прочность пород, производительность, площадь разрабатываемых стружек, энергоёмкость.
Аннотация. Статья содержит материалы исследований и результаты разноплановых расчётов приведённых в графической и табличной формах, подтверждающих обоснованность высказанного авторами предположения о целесообразности ведения вскрышных и добычных работ на Северо-Западном участке крупнейшего в РФ Эльгинского каменноугольного месторождения безвзрывной технологией с применением комбайнов типа КСМ-2000Р и КСМ-2000РМ. Подчеркивается предпочтительность использования последнего, обладающего более высокой производительностью. Приведены основные горно-геологические сведения об угольных пластах и вмещающих породах. Отмечается сложность строения угольных пластов с наличием большого количества породных пропластов и относительно высокая прочность пород, доступных к отбойке послойным фрезерованием комбайнами. Подчёркивается, что переход на безвзрывную технологию обработки месторождения будет способствовать охране окружающей среды и решению ряда экологических проблем региона, в частности за счёт исключения массовых взрывов, снижая тем самым наведенный уровень сейсмичности, краткому снижению выбросов угольной и породной пыли, а так же токсичных газов загрязняющих воздушную среду и земную поверхность.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING COMBINES TYPE KSM AT THE NORTH-WESTERN SECTION OF ELGINSKOE COAL DEPOSIT

Khosoev D.V., Kiselev V.V.

*Chersky Institute of Mining of the North of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk*

Keywords: coal deposits, coal seams, cutting force, overburden rocks, quarry combine, rock strength, productivity, area of developed chips, energy intensity.

Abstract. The article contains research materials and the results of diverse calculations, given in graphic and tabular forms confirming the validity of the assumption made by the authors about the feasibility of carrying out overburden and mining operations in the North-West section of the largest Elginsky coal deposit in the Russian Federation using non-explosive technology using combines such as KSM-2000R and KSM-2000RM. The preference for the latter with higher performance is emphasized. Basic mining and geological information about coal beds and host rocks is given. The complexity of the structure of coal seams with the presence of a large number of rock strata and the relatively high strength of the rocks, however, broken by layer-by-layer milling by combines, are noted. It is emphasized that the transition to a non-explosive field development technology will help protect the environment and solve a number of environmental problems in the region, in particular, by eliminating mass explosions, thereby reducing the induced level of seismicity, a brief decrease in emissions of coal and rock dust, as well as toxic gases polluting the air and the earth's surface.

Введение

Как известно, Россия является одной из крупнейших сырьевых держав мира, ее недра содержат громадное количество месторождений полезных ископаемых, в том числе угольных.

В данное время в Южной Якутии, в частности, ведется разработка открытым способом с применением буровзрывной технологии крупнейшего в мире Эльгинского каменноугольного месторождения (ЭКМ) [1]. Благодаря огромным запасам и высокой ценности углей на настоящий момент является чрезвычайно перспективным для экономики Дальневосточного региона. Северо-западный участок ЭКМ разрабатываемый в настоящее время представляет

собой толщу пологопадающих (2-10°) скальных горных пород шириной 5-8 км и глубиной до 480 м, вмещающую 24 угольных пласта и вытянутую в северо-западном направлении на 16 км.

Все угольные пласты ЭКМ Ундытканской и Нерюнгриканских свит условно можно разделить на две группы (табл. 1). К первой группе относятся верхние угольные пласты малой мощности, начиная с У₆. Значение мощности большинства этих пластов находятся в пределах 1,17-2,84 м. Ко второй группе относятся нижние угольные пласты большой мощности – Н₁₅, Н₁₆, У₄ и У₅. Их мощность, в основном составляет 7,49-9,81 м (пл. Н₁₅ имеет мощность 4,89 м). Эти пласты содержат около 75% запасов всего месторождения. Предельная глубина отработки углей при открытом способе (почва пласта Н₁₅) составляет 520 м.

Данные таблицы 1 свидетельствуют, что угольные пласты Северо-Западного участка ЭКМ, имеют преимущественно сложное строение (от 1 до 10 породных прослоев). Фактором, осложняющим их разработку, является площадное расщепление мощных угольных пластов Н₁₅, У₄, У₅ на самостоятельные угольные пачки и значительная изменчивость мощности пород междупластий как в расщепленных пластах, так и между основными пластами участка.

Табл. 1. Горно-геологические характеристики Северо-Западного участка Эльгинского каменноугольного месторождения

| Вскрышные породы и угольные пласты | Мощность пластов и породных междупластий, м | Угол падения пласта, град | Количество породных прослоев | Площадь распространения, км ² |
|---------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------|--|
| Ундытканская свита | | | | |
| Песчаник м/з | до 28,0 | | | |
| Уголь (У ₂₀) | 4,74 | 3-6 | 0-4 | 2,3 |
| Песчаник м/з; алевролит | 18,0 | | | |
| Уголь (У ₁₉) | 1,17 | 2-9 | 0-3 | 3,5 |
| Песчаник м/з и с/з; алевролит | 14,0 | | | |
| Уголь (У ₁₈) | 2,37 | 2-6 | 0-1 | 4,3 |
| Песчаник м/з и с/з; алевролит | 24,0 | | | |
| Уголь (У ₁₇) | 2,56 | 1-7 | 1-5 | 6,5 |
| Песчаник м/з и с/з | 26,0 | | | |
| Уголь (У ₁₆) | 3,0 | 1-7 | 0-2 | 9,1 |
| Песчаник м/з и с/з; алевролит | 51,0 | | | |
| Уголь (У ₁₄) | 2,67 | 1-7 | 1-4 | 13,3 |
| Песчаник м/з; алевролит | 2,2 | | | |
| Уголь (У ₁₃) | 2,33 | 2-8 | 1-3 | 13,8 |
| Песчаник м/з и с/з; алевролит | 3,8 | | | |
| Уголь (У ₁₂) | 2,33 | 3-7 | 1-5 | 14,3 |
| Алевролит и песчаник м/з | 29,0 | | | |
| Уголь (У ₈) | 1,4 | 1-5 | 0-1 | 17,6 |
| Песчаник м/з и с/з; алевролит | 17,0 | | | |
| Уголь (У ₆) | 2,84 | 1 | 1-8 | 20,8 |
| Алевролит; песчаник м/з и с/з | 68,0 | | | |
| Уголь (У ₅) | 8,89 | 2-6 | 2-12 | 31,1 |
| Песчаник м/з; алевролит; конгломераты | 32,0 | | | |
| Уголь (У ₄) | 7,49 | 1-7 | 1-12 | 41,3 |
| Алевролит; песчаник м/з; конгломераты | 53,0 | | | |
| Нерюнгриканская свита | | | | |
| Уголь (Н ₁₆) | 9,81 | 2-10 | 2-12 | 51,8 |
| Алевролит; песчаник м/з и с/з; | 27,0 | | | |
| Уголь (Н ₁₅) | 4,89 | 1-10 | 2-12 | 60,1 |

Вскрышные породы в основном представлены переслаивающимися крупно-средне-мелкозернистыми песчаниками с редкими прослоями алевролитов, которые зачастую приурочены к кровле и почве пластов. Объемный вес пород изменяется от 2,56 до 2,64 г/см³, составляя в среднем 2,6 г/см³. Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова составляет для вскрышных пород $f = 6-7$, для угля – $f = 1-3$.

Методы и материалы исследований

За рубежом, в странах СНГ и России при открытой разработке пластовых месторождений используется безвзрывная технология на базе оборудования непрерывного действия (роторно-конвейерные комплексы). В настоящее время стали широко применяться карьерные комбайны послыйного фрезерования Виртген, VASM и КСМ [2-7]. Данные машины способны разрабатывать массивы горных пород с прочностью на одноосное сжатие до 120 МПа с высокой селекцией тонких слоев без предварительной буровзрывной или механической подготовки к выемке.

Немецкой фирмой KRUPP производится широкий типоразмерный ряд роторных комбайнов класса «Sutterwhite», состоящий из семи моделей производственной серии для открытых горных работ KSM («KRUPP Surface Miner») с производительностью от 700 до 3000 м³/ч в целике или 1250-4000 м³/ч по рыхлой массе. В дальнейшем этой фирмой и Институтом горного дела им. А.А. Скочинского применительно к условиям отработки угольных месторождений Кузбасса, Восточной Сибири были разработаны комбайны КСМ-2000Р [8]. В таблице 2 приведены технические характеристики комбайна КСМ-2000Р.

Табл. 2. Техническая характеристика комбайна КСМ-2000Р

| Показатели | Значение |
|---|----------|
| Расчетная номинальная производительность в рыхлой массе, м ³ /ч | 2000 |
| Расчетная техническая производительность по плотной массе, м ³ /ч | 1400 |
| Ширина захвата (полосы), м | 7,0 |
| Диаметр рабочего органа, м | 4,8 |
| Наибольшая высота обрабатываемого слоя, м | 3,0 |
| Мощность привода рабочего органа, кВт | 1100 |
| Скорость хода при расчетной производительности, м/ мин | 1,3 |
| Масса машины | 520 |
| Удельная энерговооруженность (при расчетной производительности), кВт×ч/м ³ | 0,79 |

Комбайн имеет широкозахватный рабочий орган, расположенный в ее передней части, и обеспечивает выемку горных пород с коэффициентом крепости от 2 до 8 по Протодяконову без их предварительной буровзрывной подготовки горного массива. Номинальная производительность КСМ-2000Р составляет 2000 м³/ч в рыхлой массе (1400 м³/ч в плотной массе). Отработку уступа осуществляют по послыйно-полосовой технологии.

Основными преимуществами карьерных комбайнов КСМ-2000Р являются относительно высокие усилия резания в 5-6 раз выше, чем у роторного экскаватора, широкий диапазон мощности обрабатываемого пласта (от нескольких сантиметров до 2,9 метров); отсутствие вспомогательного оборудования; возможность самостоятельной проходки съездов; хорошая маневренность, вплоть до разворота на месте. При одной и той же расчетной производительности масса этого комбайна меньше массы экскаватора ЭКГ-20 в два раза [9]. С момента пуска в 1996 году в эксплуатацию КСМ-2000Р на угольном разрезе "Талдинский" в Центральном Кузбассе, исследовались его технологические возможности, в том числе энергосиловые показатели. Испытания проводились в изменяющихся горно-геологических условиях при безвзрывной экскавации пород, характеризующихся пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ от 25 МПа до 120 МПа (рис. 1).

По результатам испытаний КСМ-2000Р был усовершенствован его рабочий орган комбайна. Количество ковшей было увеличено с 15 до 20. Модернизированный комбайн получил название КСМ-2000РМ [11].



Рис. 1. Отработка вскрышных пород и угля комбайном КСМ-2000Р на месторождении «Талдинский»

Институтом горного дела Севера ЯНЦ СО РАН (ИГДС) на основании результатов исследований физико-механических свойств вскрышных пород и угля с учетом усилий резания рабочего органа обоснована возможность применения комбайнов КСМ-2000Р на ЭКМ [10], учитывая к тому же положительные результаты промышленных испытаний в Кузбассе.

Выявленные закономерности, характеризующие рабочий процесс КСМ-2000Р, позволяют, по нашему мнению, с высокой степенью достоверности прогнозировать ожидаемые эксплуатационные показатели этих машин в конкретных горно-геологических условиях и в частности ЭКМ. Так, установленные взаимосвязи удельной энергоёмкости рабочего процесса H_w и прочностных свойств обрабатываемых горных пород, позволяют на основе данных геологических условий Северо-Западного участка месторождения, намечаемого к отработке, определить рациональные энергосиловые параметры машины типа КСМ [12, 13].

В этих целях нами использовалась методика разработанная ИГД им. А.А. Скочинского позволившая установить эмпирическую зависимость удельной энергоёмкости экскавации от физико-механических свойств экскавируемых пород возможную по силовому фактору.

Нами произведен расчет основных показателей рабочего процесса КСМ-2000Р для вскрышных пород ЭКМ. Результаты расчетов энергосиловых показателей (удельную энергоёмкость H_w , удельное сопротивление пород копанию K_f , техническую производительность Q_m) работы КСМ-2000Р на вскрышных породах ЭКМ представлены в таблице 2.

Проведенный анализ результатов по силовым показателям работы КСМ-2000Р на вскрышных породах Эльгинского месторождения показал, что удельная энергоёмкость копания H_w по данным породам составила от 1,35-2,74 кВт ч/м³. Удельное усилие копания K_f изменяется в пределах 4,35-8,9 МПа, что соответствует средневзвешенной крепости пород по обрабатываемому слою $f_{cp}=4,9-10$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова. Такие большие показатели объясняются тем, что при разработке машиной КСМ-2000Р, например конгломератов, коэффициент хрупкости последних составил 4,6.

Полученные расчёты показали, что вскрышные породы данного месторождения являются весьма крепкими, производительность машины по ним колеблется в пределах 420 м³/ч по конгломератам и до 850 м³/ч по алевrolитам, что меньше расчетной технической производительности КСМ-2000Р по плотной массе равной 1400 м³/ч.

Для комбайнов КСМ-2000Р и КСМ-2000РМ также в ИГД им. А.А. Скочинского была получена зависимость величины технической производительности по кинематическому фактору. Данный фактор учитывает геометрические параметры рабочего органа комбайна, который напрямую влияет на высоту обрабатываемого слоя и толщину стружки:

$$Q_{max} \leq \frac{60BHt_{cmp}n_p z_0}{z_p \sin[\arccos(1 - \frac{H}{R_p})]}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где B – ширина обрабатываемой полосы, м; H – высота слоя, м; R_p – радиус рабочего органа, м; z_0 – количество режущих кромок на каждом ковше, ед.; z_p – число резцов в линии резания для каждого из ковшей, ед.; n_p – скорость вращения рабочего органа, об/мин; t_{cmp} – максимальная толщина стружки, м.

Табл. 2. Энергосиловые показатели работы КСМ-2000Р на вскрышных породах Эльгинского каменноугольного месторождения (методика ИГД им. А.А. Скочинского)

| Наименование пород и углей | Удельная энергоемкость, H_w , кВт ч/м ³ | Удельное сопротивление пород копанью, K_f , МПа | % участия пород в разрезе (с учетом подсчетных пластов) | Производительность, Q_s , м ³ /ч (в плотной массе) |
|----------------------------|--|---|---|---|
| Ундытканская свита | | | | |
| Конгломераты | 2,73 | 8,9 | 5,6 | 420 |
| Гравелиты | 1,91 | 6,21 | 2,0 | 600 |
| Песчаники кр. зерн. | 2,38 | 7,78 | 18,4 | 480 |
| Песчаники ср. зерн. | 2,48 | 8,13 | 30,9 | 460 |
| Песчаники м. зерн. | 2,34 | 7,62 | 20,8 | 490 |
| Алевролиты | 1,61 | 5,23 | 11,5 | 710 |
| Угли | 0,29 | 2,7 | 10,8 | 1400 |
| Нерюнгриканская свита | | | | |
| Песчаники кр. зерн. | 1,88 | 6,11 | 10,3 | 610 |
| Песчаники ср. зерн. | 1,81 | 5,91 | 18,9 | 630 |
| Песчаники м. зерн. | 2,11 | 6,91 | 26,4 | 540 |
| Алевролиты | 1,35 | 4,35 | 24,8 | 850 |
| Угли | 0,15 | 1,85 | 19,6 | 1400 |

Результаты расчётов по формуле (1) величины технической производительности по кинематическому фактору комбайнов типа КСМ-2000Р, КСМ-2000РМ при различных высотах разрабатываемого слоя для коренных пород ЭКМ представлены в таблице 3.

Данные таблицы свидетельствуют, что при номинальной высоте слоя 2,9 м производительность КСМ-2000Р составляет – 1138 м³/час, а комбайна КСМ-2000РМ – 1804 м³/час. Это соотношение сохраняется для различных высот слоя. Такое различие по производительности объясняется тем, что у комбайна КСМ-2000РМ количество ковшей 80, а у КСМ-2000Р – 60. Также у комбайна КСМ-2000РМ больше толщина срезаемой стружки $t_{cmp} = 60$ мм по сравнению с КСМ-2000Р – $t_{cmp} = 47$ мм.

Табл. 3. Основные расчетные показатели технической производительности КСМ-2000Р и КСМ-2000РМ при различных высотах разрабатываемого породного слоя

| Высота слоя h_c , м | 2,9 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,1 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Q КСМ-2000Р, м ³ /час | 1138 | 1028 | 888 | 745 | 591 | 404 | 257 | 178 |
| Q КСМ-2000РМ, м ³ /час | 1804 | 1750 | 1510 | 1267 | 1005 | 688 | 438 | 303 |

Для определения производительности комбайнов КСМ-2000Р и КСМ-2000РМ нами была скорректирована методика, ранее разработанная Домбровским Н.Г., учитывающая площадь срезаемой стружки и усилия подачи ковша [14].

Результаты расчетов основных показателей работы КСМ-2000Р по методике Н.Г. Домбровского для различных мощностей разрабатываемого слоя вскрышных пород ЭКМ представлены в таблице 4.

По этой же методике был произведен аналогичный расчет для комбайна КСМ-2000РМ: площадь срезаемой стружки при номинальной высоте забоя $h_c = 2,9$ м, $K_h = 0,63$ диаметра колеса. Результаты расчетов основных показателей работы КСМ-2000РМ для различных мощностей разрабатываемого слоя для вскрышных пород Эльгинского месторождения представлены в таблице 5.

Табл. 4. Основные показатели работы КСМ-2000Р при различных высотах слоя Эльгинского каменноугольного месторождения

| | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----|------|
| Высота слоя h_c , м | 2,9 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,2 |
| Число ковшей участвующих в процессе резания, шт. | 20 | 16 | 16 | 12 | 12 | 12 | 8 |
| Площадь стружки на 1 ковш F_i , см ² | 132 | 136 | 134 | 127 | 110 | 84 | 45,6 |
| Общая площадь стружки всех ковшей участвующих в процессе резания F , см ² | 5532 | 4196 | 3711 | 2314 | 1505 | 684 | 183 |
| Производительность Q , м ³ /час | 1410 | 1072 | 950 | 585 | 385 | 175 | 47 |

Табл. 5. Основные показатели работы КСМ-2000РМ при различных высотах слоя Эльгинского каменноугольного месторождения

| | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Высота слоя h_c , м | 2,9 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0,2 |
| Число ковшей участвующих в процессе резания, шт. | 28 | 24 | 24 | 20 | 16 | 12 | 8 |
| Площадь стружки на 1 ковш F_i , см ² | 132 | 136 | 134 | 127 | 110 | 84 | 45 |
| Общая площадь стружки всех ковшей участвующих в процессе резания F , см ² | 6125 | 5124 | 4532 | 3657 | 2113 | 752 | 180 |
| Производительность Q , м ³ /час | 1565 | 1310 | 1158 | 934 | 540 | 192 | 46 |

Анализ результатов, приведенных в таблицах 4 и 5, свидетельствует о том, что за счет большего количества ковшей, задействованных в процессе резания, производительность комбайна КСМ-2000РМ на (10-18%) выше, чем у комбайна КСМ-2000Р. Результаты сравнительной оценки показателей производительности комбайнов КСМ-2000Р и КСМ-2000РМ от высоты разрабатываемого слоя приведены в графической форме на рисунке 2.

Анализ графиков (рис. 2) свидетельствует о том, что наибольшие показатели производительности КСМ-2000Р получились по методике расчета по Н.Г. Домбровскому – 1410 м³/ч, а для КСМ-2000РМ при расчете по кинематическому фактору – 1804 м³/ч (ИГД им А.А. Скочинского).

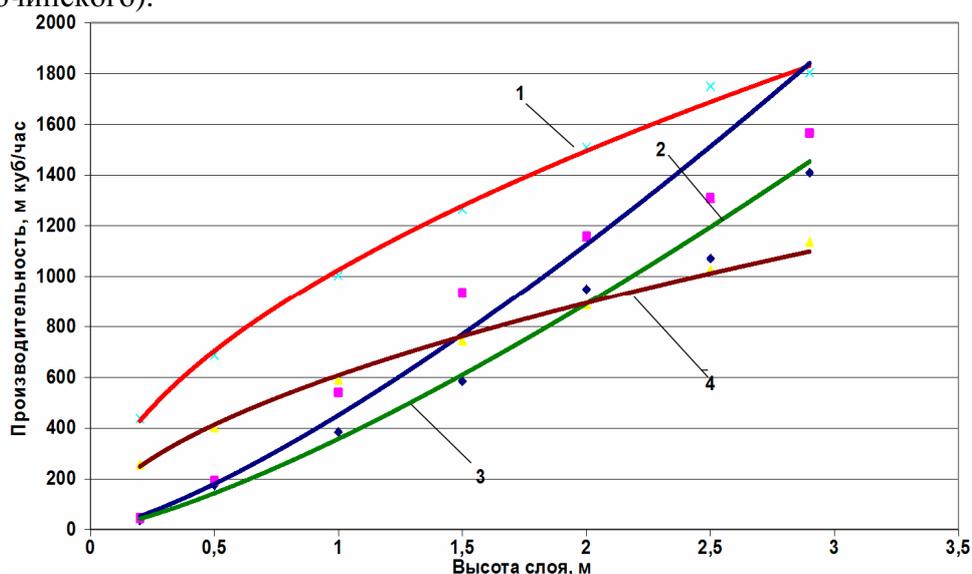


Рис. 2. Зависимость производительности комбайнов типа КСМ от высоты разрабатываемого слоя: 1 – КСМ-2000РМ по кинематическому фактору; 2 – КСМ-2000РМ по Н.Г. Домбровскому; 3 – КСМ-2000Р по Н.Г. Домбровскому; 4 – КСМ-2000Р по кинематическому фактору

В заключении необходимо особо отметить, что рекомендуемая безвзрывная технология угледобычи отличается высокой экологичностью. Как известно, окружающая среда при отработке месторождений полезных ископаемых, включая ЭКМ, находится под мощным техногенным прессингом, учитывая колоссальные масштабы ведения горных работ на месторождении с использованием буро-взрывной технологии, обладающей высокой степенью экологической опасности, сопровождающейся громадными выбросами различных типов токсичных загрязнений, в первую очередь породной и угольной пыли, а так же газов. В результате этого изменяется первоначальный облик ландшафта, деградируется растительный покров, нарушается водный баланс, страдают биота и все живые организмы, включая человека.

Переход на безвзрывную технологию с применением комбайнов позволит исключить сейсмические воздействия взрывов. Снизить интенсивность техногенного прессинга, кратно сократить масштабы выбросов вышеперечисленных загрязнений, тем самым значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и расходы на решение экологических проблем, защитить биоту, включая население горнодобывающего региона.

Выводы

1. Результаты проведенных исследования подтвердили возможность и перспективность отработки ЭКМ безвзрывной технологией с применением комбайнов типа КСМ на ведении вскрышных и добычных работ.

2. Переход на безвзрывную технологию позволит снизить масштабы техногенного прессинга, кратно сократить количество выбросов токсичной пыли и газов, снизить нагрузку на экологию и среду обитания населения региона.

3. 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 КСМ-2000Р, при этом может быть обеспечена производительность сопоставимая с проектной.

4. Результаты расчетов подтверждают, что наибольшие расчетные показатели по производительности КСМ-2000Р получились по методике расчета по Н.Г. Домбровскому – 1410 м³/ч, а КСМ-2000РМ при расчете по кинематическому фактору – 1804 м³/ч.

5. Исследования показали что, производительность комбайна по вскрышным породам ЭКМ колеблется в пределах 420 м³/ч по конгломератам и до 850 м³/ч по алевритам, что меньше расчетной технической производительности КСМ-2000Р по плотной массе равной 1400 м³/ч.

6. Расчет производительности комбайна КСМ-2000Р по методике Н.Г. Домбровского показал, что полученный результат по часовой производительности $Q = 1410$ м³/ч согласуются с паспортной производительностью, в плотном теле при этом производительность машины – 1400 м³/ч.

Финансирование. «Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №122011800086-1 ЕГИСУ НИОКТР) с использованием оборудования ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН».

Список литературы

1. Хосоев Д.В. Оценка горнотехнических условий Эльгинского месторождения с позиции применения горных комбайнов // Горная промышленность. – 2016. – №6. – С. 81-83.
2. Лабутин В.Н., Маттис А.Р., Зайцев Г.Д., Ческидов В.И. Безвзрывная технология добычи полезных ископаемых: состояние и перспективы. Ч. II: Оценка эффективности применения различных способов разрушения в технологиях открытых горных работ // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2004. – №2. – С. 66-75.
3. Będkowski T., Kasztelewicz Z., Sikora M. Technical and economic analysis of mechanical rock extraction based on 'Raciszyn' deposit // Inżynieria Mineralna. 2016, vol. 17, no. 2, pp. 107-112.
4. Mohd Im. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM 3.8 // International Journal of Technical Research and Applications. 2016, vol. 4, iss. 1, pp. 224-226.
5. Ордин А.А., Швабенланд Е.Е. Обоснование параметров технологии открытого способа добычи апатитового сырья фрезерными комбайнами // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – №2. – С. 80-87.

6. Маттис А.Р., Ческидов В.И., Лабутин В.Н. К вопросу выбора экскаваторов для разработки крепких горных пород на карьерах России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – №2. – С. 124-132.
7. Kramadibrata S., Simangunsong G.M., Widodo N.P., Wattimena R.K., Tanjung R.A., Wicaksana Y. Rock excavation by continuous surface miner in limestone quarry // Geosystem Engineering. 2015, vol. 18, no. 3, pp. 1-13.
8. Коваленко С.К., Шендеров А.И., Штейнцайг Р.М., Совершенствование технологических процессов горного производства на угольном разрезе "Талдинский" // Уголь. – 1997. – №1. – С. 17-20.
9. Малышев Ю.Н., Анистратов К.Ю., Анистратов Ю.А., Бызов В.Ф., Вилкул Ю.Г., Зайденварг В.Е., Каплунов Д.Р., Ковальчук А.Б., Козловский Е.А., Кутузов Б.Н., Мариев П.Л., Перепелицын А.И., Решетняк С.П., Штейнцайг Р.М. Мировая горная промышленность. – М.: Горное дело, 2005. –520 с.
10. Хосоев Д.В., Ермаков С.А. Оценка технологий разработки Эльгинского угольного месторождения // Уголь. – 2009. – №11. – С. 9-12.
11. Краснянский Г.Л., Штейнцайг Р.М., Рудольф В., Коваленко С.К. Опыт создания и перспективы освоения в горнодобывающей промышленности машин нового поколения КСМ-2000РМ // Уголь. – 1998. – №4. – С. 16-21.
12. Штейнцайг Р.М., Воронков Г.Я., Леванковский И.А., Кузнецов А.Г., Литвинов А.Р. Пути повышения качества рабочего процесса машин типа КСМ-2000Р // Горная Промышленность. – 1998. – №4. – С. 9-16.
13. Коваленко С.К. Эффективность применения машин типа КСМ в схемах поточного производства горных работ // Горная промышленность. – 1997. – №2. – С. 23-29.
14. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы: Конструкции, теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1972. – 432 с.

References

1. Khosoev D.V. Assessment of mining conditions of Elga deposit from the position of application of mining harvesters // Mining Industry. 2016, no. 6, pp. 81-83.
2. 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, vol. 40, no. 2, pp. 173-181.
3. Będkowski T., Kasztelewicz Z., Sikora M. Technical and economic analysis of mechanical rock extraction based on 'Raciszyn' deposit // Inzynieria Mineralna. 2016, vol. 17, no. 2, pp. 107-112.
4. Mohd Im. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM 3.8 // International Journal of Technical Research and Applications. 2016, vol. 4, iss. 1, pp. 224-226.
5. Ordin A.A., Schwabenland E.E. Evaluation of technological parameters for apatite extraction by surface miners // Journal of Mining Science. 2016, vol. 52, no. 2, pp. 293-299.
6. Mattis A.R., Cheskidov V.I., Labutin V.N. Choice of the hard rock surface mining machinery in Russia // Journal of mining science. 2012, no. 2, pp. 329-338.
7. Kramadibrata S., Simangunsong G.M., Widodo N.P., Wattimena R.K., Tanjung R.A., Wicaksana Y. Rock excavation by continuous surface miner in limestone quarry // Geosystem Engineering. 2015, vol. 18, no. 3, pp. 1-13.
8. Kovalenko S.K., Shenderov A.I., Shteinzaig R.M., Improvement of technological processes of mining production at the coal mine "Taldinsky" // Coal. 1997, no. 1, pp. 17-20.
9. Malyshev Yu.N., Anistratov K.Yu., Anistratov Yu.A., Byzov V.F., Vilkul Yu.G., Zaidenvarg V.E., Kaplunov D.R., Kovalchuk A.B., Kozlovsky E.A., Kutuzov B.N., Mariiev P.L., Perepelitsyn A.I., Reshetnyak S.P., Shteinzaig R.M. World Mining Industry. – М.: Mining, 2005. –520 p.
10. Khosoev D.V., Ermakov S.A. Evaluation of the Elga coal deposit development technologies. // Coal. 2009, no. 11, pp. 9-12.
11. Krasnyansky G.L., Shteinzaig R.M., Rudolph V., Kovalenko S.K. Experience of creation and prospects of development in the mining industry of the new generation machines KSM-2000RM // Coal. 1998, no 4, pp. 16-21.
12. Steinzeig R.M., Voronkov G.Ya, Levankovsky I.A, Kuznetsov A.G, Litvinov A.R. Ways to improve the quality of the work process of machines such as KSM-2000R // Mining Industry. 1998, no 4, pp. 9-16.
13. Kovalenko S.K. Efficiency of using KSM-type machines in in-line mining schemes // Mining industry. 1997, no 2, pp. 23-29.
14. Dombrovsky N.G. Multi-bucket excavators: Constructions, theory and calculation. – М.: Mechanical engineering, 1972. – 432 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

| | |
|--|--|
| Хосоев Доржо Владимирович – ведущий инженер | Khosoev Dorzho Vladimirovich – leading engineer |
| Киселев Валерий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник | Kiselev Valery Vasilyevich – candidate of technical sciences, senior researcher |
| hosoev70@mail.ru | |

Получена 06.05.2024