

Технико-экономическое сравнение вариантов разработки сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения

Доржо Владимирович ХОСОЕВ*

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

Аннотация

Актуальность. В условия Севера при хроническом дефиците материальных и энергетических ресурсов при добыче полезных ископаемых вопросы поиска оптимальных технико-экономических и экологических показателей являются актуальной и насущной проблемой.

Цель работы – показать эффективность применения комбайнов КСМ-2000Р при разработке угольных пластов сложного строения Эльгинского месторождения.

Методы исследования. Используются статистические методы обработки информации, методы сравнения, аналогий, логический анализ, метод экспертных оценок.

Результаты. Анализ проведенных расчетов показал, что при первом варианте с цикличной технологией структура по элементам затрат составила: 34,8 % – на электроэнергию, 33,2 % – на амортизацию, 28,3 % – на материалы и 3,7 % – на оплату труда. В варианте с использованием комбайнов типа КСМ-2000Р максимальные показатели затрат: 36,7 % – на амортизацию, 29,7 % – на электроэнергию, 27,9 % – на материалы и 5,5 % – на оплату труда. Расчеты показали, что при использовании комбайнов затраты на добычу 1 т угля снизились по всем элементам более чем на 27 % по сравнению с цикличной технологией. Также списочная численность рабочих снизилась на 6 и составила 30 человек. Кроме того, увеличилась среднемесячная производительность труда рабочего в бригаде и составила 4046 т/мес.

Выводы. Выполнены технико-экономические расчеты, на основании которых показано, что применение комбайнов КСМ-2000Р достаточно эффективно при разработке угольных пластов сложного строения. Условная годовая экономия составила 57 248 тыс. руб. с вариантом безвзрывной технологии по сравнению с вариантом с цикличной технологией. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) за девять лет при использовании комбайнов типа КСМ-2000Р составил 6296 млн руб. С экологической точки зрения, применение безвзрывной технологии на базе комбайнов КСМ с автосамосвалами и конвейерным транспортом на добычных работах в 1,5 раза уменьшит негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с цикличной технологией. При этом частичное применение КСМ на вскрышных работах позволит еще больше снизить негативное воздействие – до 1,7 раза.

Ключевые слова: цикличная технология, горный комбайн, безвзрывная технология, угольный пласт, экономическая эффективность, материалы, амортизация, себестоимость.

Введение

Эльгинское месторождение находится на юге Якутии, в Токинском угольном районе Южно-Якутского бассейна. Общая площадь его составляет 236 км². Ближайшими к месторождению населенными пунктами являются пос. Чульман, расположенный в 415 км по прямой к западу, и пос. Чагда – в 350 км к северу. Восточная ветвь БАМа проходит в 320 км в южном направлении от месторождения за Становым хребтом. В данное время Эльгинское месторождение разрабатывается с использованием традиционной цикличной технологии на базе одноковшовых экскаваторов, буровзрывных работ и автотранспорта.

При разработке таких месторождений большое значение уделяется экологической составляющей производства горных работ, особенно в условиях Севера [1–3]. Это касается и рассматриваемого месторождения, с учетом, что оно находится в местности, где расположены два объекта, отнесенные к государственным заказникам: оз.

Большое Токко и селение представителей коренных малочисленных народов Крайнего Севера в верховьях р. Алгамы. В этих заказниках находятся уникальные места со своеобразным растительным и животным миром, которые из-за сложной доступности до настоящего времени сохраняются почти в первозданном виде, что предъявляет повышенные экологические требования на всех этапах эксплуатации месторождения. Поэтому достаточно актуальным является рассмотрение новых технологических решений разработки этого месторождения в части применения технологий и оборудования. Весьма важными являются также вопросы чистоты и полноты выемки полезных ископаемых из недр.

Перспективным в плане селективной разработки сложноструктурных пластов Эльгинского месторождения является применение безвзрывной технологии на базе комбайнов КСМ-2000Р. При одной и той же расчет-

✉ hosoev70@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1466-8509>

ной производительности масса комбайнов типа КСМ меньше экскаватора ЭКГ в 4–6 раз, а усилие резания в 5–6 раз выше, чем у роторного экскаватора. Благодаря высоким значениям развиваемых усилий резания, эти машины могут успешно разрабатывать породы прочностью на сжатие до 60–80 МПа без использования буровзрывных работ [4–6]. Опыт эксплуатации и исследования показал, что рассматриваемое оборудование способно селективно вынимать слои от 10–20 см и выше. Точность резания материала достигает 10 см [7].

При селективной разработке сложноструктурных пластов с использованием горных комбайнов основной объем потерь угля наблюдается при отработке приконтактных зон угля с породой, а также за счет включения маломощных угольных пачек во внутреннюю вскрышу. При этом наиболее благоприятные условия селективной выемки с минимальными потерями реализуются, когда угол падения пластов не превышает конструктивно допустимого уклона (для КСМ-2000Р эта величина составляет не более 5–6 град) [8]. При увеличении углов падения пластов потери или разубоживание угля возрастают, особенно в диапазоне от 5 до 20 град [9]. Причем эти потери зависят от высоты обрабатываемого слоя: чем она меньше, тем меньше потери. В условиях Эльгинского месторождения пласты угля в основном имеют пологое залегание от 2 до 5 град, оптимальное для применения комбайнов КСМ-2000Р. Для оценки эффективности применения данного оборудования на Эльгинском месторождении необходимо выполнить технико-экономические расчеты в сравнении с цикличной технологией.

В работе [10] на примере угольного пласта H_{15} и вмещающих пород междупластья H_{16} – H_{15} для оценки горнотехнических условий с позиции применения такого оборудования был рассмотрен «первоочередной участок отработки» в пределах западного участка месторождения (рис. 1). Выполнен анализ по структурным признакам, мощности, условиям залегания междупластий и угольных пластов, а также по прочностным свойствам пород в массиве.

Первоочередной участок располагается в северо-западной части месторождения, имеет длину около 3 км и ширину 550 м. Запасы по пласту H_{15} и отщепленному от него H_{15}^B составляли 17,6 млн т угля.

Как показал проведенный анализ, угольные пласты имеют пологое залегание около 4 град. Из двух угольных пластов H_{15}^B и H_{15} угольный пласт H_{15}^B имеет выдержанный характер и простое строение. Этот пласт следует отрабатывать валовым способом, а угольный пласт H_{15} на данном участке характеризуется по мощности невыдержанностью и сложным строением. Таким образом, данный пласт следует отрабатывать селективным способом.

В ИГД Севера СО РАН проведена оценка эффективности селективной разработки с использованием комбайнов типа КСМ-2000Р на примере отработки угольных пластов H_{15}^B и H_{15} первоочередного участка Эльгинского каменноугольного месторождения [11]. С использованием горно-геологической информационной системы Mine Frame [12, 13] выполнены расчеты потерь, разубоживания и зольности угля для угольных пластов H_{15}^B и H_{15} по трем вариантам их разработки. Установлено, что при селективной разработке сложноструктурных угольных пластов H_{15}^B и H_{15} комбайнами КСМ-2000Р в зависимости от параметров вынимаемого слоя разубоживание угля снизится в 1,8–6,5 раза, а зольность угля уменьшится на 1,3–2,5 % по сравнению с валовой разработкой. При этом потери при разработке сложноструктурных пластов с большим количеством породных прослоев незначительно увеличатся, а при разработке угольных пластов простого строения потери значительно уменьшатся.

Результаты

Для экономического сравнения были выбраны два технологических варианта для отработки междупластий H_{16} – H_{15}^B , H_{15}^B – H_{15} и угольных пластов H_{15}^B и H_{15} на первоочередном участке Эльгинского месторождения. Срок отработки 9 лет, режим работы разреза 365 дней, 2 смены продолжительностью 12 ч.

Первый вариант – междупластья H_{16} – H_{15}^B и H_{15}^B – H_{15} отрабатываются по простой бестранспортной схеме экска-

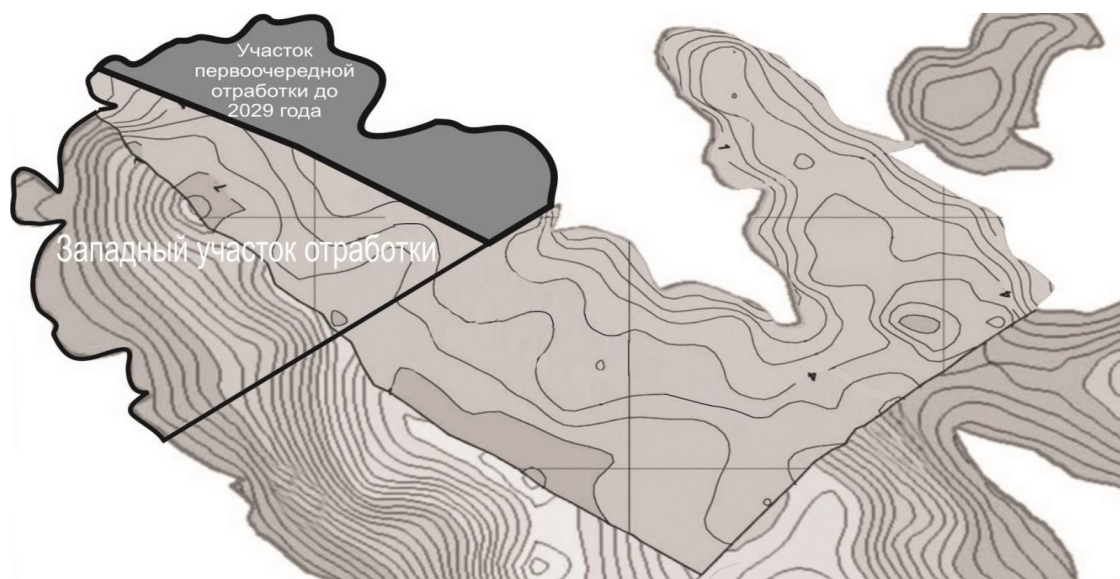


Рисунок 1. Месторасположение первоочередного участка отработки
Figure 1. Location of the priority mining site

Таблица 1. Комплект оборудования при разработке первоочередного участка Эльгинского месторождения**Table 1. Set of equipment for the development of the priority area of the Elginskoye field**

Оборудование	При циклической разработке, шт.
<i>Вскрыша</i>	
Экскаваторы ЭШ-20/90	2
Буровые станки СБШ-160	1
Бульдозеры D-275A	1
<i>Добыча</i>	
Экскаваторы РС-2000	1
Экскаваторы РС-1250	1
Автомобили БелАЗ-7555	6
Буровые станки СБШ-160	1
Оборудование	При безвзрывной разработке, шт.
<i>Вскрыша и добыча</i>	
Экскаваторы КСМ-2000Р	2
Автомобили БелАЗ-7530	8
Бульдозеры D-275A	1

Таблица 3. Калькуляция себестоимости добычи 1 т угля и ее структура**Table 3. Calculation of the cost of production of 1 ton of coal and its structure**

Элементы затрат	Всего, тыс. руб.	На 1 т угля, руб.	Структура, %
Оплата труда	27 324,0	20,8	3,7
Материалы	214 509,9	163,7	28,3
Амортизация	251 469,0	192,0	33,2
Электроэнергия	263 613,4	201,3	34,8
<i>Итого</i>	756 916,3	577,8	100,0

ваторами-драглайнами ЭШ-20/90 с размещением вскрышных пород в выработанном пространстве. Добычные работы осуществляются по транспортной схеме дизель-гидравлическими экскаваторами РС-2000 и РС-1250 с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-7555 грузоподъемностью 55 т. Бурение взрывных скважин при подготовке вскрышных пород и угольных пластов к выемке осуществляется станками шарошечного бурения СБШ-160. Для выполнения вспомогательных операций на горных работах задействованы бульдозеры-рыхлители D-275A (D-9R). Результаты расчетов количества оборудования приведены в табл. 1.

Второй вариант – на вскрышных и добычных работах используются горные комбайны КСМ-2000Р с автосамосвалами БелАЗ-7530, бульдозеры-рыхлители D-275A (D-9R), табл. 1.

По методикам произведена оценка экономической эффективности этих вариантов. Использовались данные из проекта ТЭО Сиваглинского ГОКа [14], где в качестве средних значений уровня заработной платы приняты данные, близкие к фактическим значениям ХК ОАО «Якутуголь» – за основу взяты значения проекта отработки запасов шахты «Джебарики-Хая» открытым способом и уровня зарплат на Эльгинском угольном комплексе (филиал ХК ОАО «Якутуголь»). Далее приведен расчет экономического эффекта на первоочередном участке Эльгинско-

Таблица 2. Исходные данные отработки первоочередного участка**Table 2. Initial data for the development of the priority site**

Показатель	Значение
Мощность пласта, м	5,8
Плотность угля, т/м ³	1,4
Годовая производственная мощность участка, т/г	1 488 000
Объемы угля, пласт Н ₁₅ ^а , тыс. т	1 107 000
Объемы угля, пласт Н ₁₅ ^б , тыс. т	381 000
Коэффициент вскрыши	3,41
Потери угля, пласт Н ₁₅ ^а , %	19,97
Потери угля, пласт Н ₁₅ ^б , %	9,24
Режим работы участка в сутки, смена	2 по 12
Предельный режим работы участка	Непрерывный
Суточный режим работы одного работника, ч	12

Таблица 4. Технико-экономические показатели участка**Table 4. Technical and economic indicators of the site**

Показатель	Значение
	1-й вариант
Годовая добыча, т	1 309 628
Затраты на добычу 1 т всего, руб., в том числе по элементам:	577,8
оплата труда	20,8
материалы	163,7
амортизация	192,0
электроэнергия	201,3
Списочная численность участка всего, чел.	42
В том числе рабочие,	36
из них: комплексная бригада ИТР	6
Производительность труда рабочего, т/мес.	3064

го месторождения для циклической технологии. Исходные данные для расчета экономической эффективности работ первоочередного участка представлены в табл. 2.

Себестоимость 1 т угля ($C_{1т}$, руб.) определяется по каждому элементу как частное деление суммы затрат по данному элементу на месячный объем горной массы и сводится в табл. 3.

Анализ показал, что в структуре по элементам затрат наибольшая статья составила по электроэнергии – 34,8 %, затем 33,2 % по амортизации, 28,3 % по материалам и 3,7 % по оплате труда (табл. 4).

Списочная численность рабочих для базового варианта составила 36 чел. Производительность рабочего участка по базовому варианту составила 3064 т/мес.

Такой же расчет произведен для безвзрывной технологии на базе комбайнов типа КСМ-2000Р. Исходные данные для расчета экономической эффективности работ комбайнов на первоочередном участке представлены в табл. 5.

Себестоимость 1 т угля ($C_{1т}$, руб.) определяется по каждому элементу как частное от деления суммы затрат по данному элементу на месячный объем горной массы и сводится в табл. 6.

В этом варианте с безвзрывной технологией структура по элементам затрат выглядит следующим об-

Таблица 5. Исходные данные отработки первоочередного участка
Table 5. Initial data for the development of the priority site

Показатель	Значение
Мощность пласта, м	5,8
Плотность угля, т/м ³	1,4
Годовая производственная мощность участка, т/г	1 488 000
Объемы угля, пласт Н ₁₅ ^г , тыс. т	1 107 000
Объемы угля, пласт Н ₁₅ ^в , тыс. т	381 000
Коэффициент вскрыши	3,41
Потери угля, пласт Н ₁₅ ^в , %	10,38
Потери угля, пласт Н ₁₅ ^г , %	7,42
Режим работы участка в сутки, смена	2 по 12
Предельный режим работы участка	Непрерывный
Суточный режим работы одного работника, ч	12

Таблица 7. Техничко-экономические показатели участка
Table 7. Technical and economic indicators of the site

Показатель	Значение	
	1-й вариант	2-й вариант
Годовая добыча, т	1 309 628	1 366 312
Затраты на добычу 1 т всего, руб., в том числе по элементам:		
оплата труда	577,8	535,9
материалы	20,8	25,1
амортизация	163,7	190,7
электроэнергия	192,0	177,5
электрoэнергия	201,3	142,6
Списочная численность участка всего, чел.	42	36
В том числе рабочие, из них:		
комплексная бригада	36	30
ИТР	6	6
Производительность труда рабочего, т/мес	3064	4060

разом: максимальные показатели достигли 36,7 % на амортизацию, затем 29,7 % на электроэнергию, далее 27,9 % на материалы и соответственно 5,5 % на оплату труда (табл. 7).

Условная годовая экономия (Э_г, руб.) определяется как разность между себестоимостью 1 т угля первого варианта (С_{1в}, руб.) и второго варианта (С_{2в}, руб.), умноженной на годовой объем добычи (Q_г, т).

$$Э_g = (C_{1в} - C_{2в}) Q_g = (577,8 - 535,9) \times 1\,366\,312 = 57\,248\,472 \text{ руб.}$$

Результаты расчета показали, что затраты на добычу 1 т угля снизились по всем элементам более чем на 27 %. Списочная численность рабочих снизилась на 6 и составила 30 человек. Среднемесячная производительность труда рабочего в бригаде увеличилась и составила 4046 т/мес. Условная годовая экономия составила 57 248 тыс. руб.

В качестве показателя, используемого для оценки эффективности мероприятий, принят чистый дисконтированный доход. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – это накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. Он характеризует превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного мероприятия с учетом факто-

Таблица 6. Калькуляция себестоимости добычи 1 т угля и ее структура
Table 6. Calculation of the cost of production of 1 ton of coal and its structure

Элементы затрат	Всего, тыс. руб.	На 1 т угля, руб.	Структура, %
Оплата труда	34 382	25,1	5,5
Материалы	260 625	190,7	27,9
Амортизация	243 559	177,5	36,9
Электроэнергия	194 118	142,6	29,7
<i>Итого</i>	655 684	535,9	100,0

Таблица 8. Исходные данные
Table 8. Initial data

Показатель	Уголь
1. Объемы добываемого полезного ископаемого всего, тыс. т	12 092
3. Цена полезного ископаемого, руб./т	3500

ра времени. Мероприятие является эффективным при положительном чистом дисконтированном доходе, т. е. при ЧДД > 0. При сравнении альтернативных вариантов предпочтение отдается тому, который имеет большее значение ЧДД.

Расчет чистого дисконтированного дохода

I вариант – цикличная технология

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 8.

Результаты расчетов сведены в табл. 9.

Показатель экономической эффективности инвестиционных затрат: чистый дисконтированный доход (ЧДД) за десять лет при использовании цикличной технологии составил 3731,0 млн руб.

II вариант – безвзрывная технология

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 10.

Результаты расчетов сведены в табл. 11.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) за десять лет при использовании безвзрывной технологии на базе комбайнов типа КСМ-2000Р составил 6296 млн руб., т. е. он больше, чем в первом варианте.

Ранее в работе [15] с учетом технико-экономических и экологических требований было рассмотрено три технологических варианта разработки Эльгинского месторождения. Для всех вариантов рассчитано требуемое количество оборудования для объема добычи 30 млн т угля и 108 млн м³ вскрыши в год исходя из K_{вск} – 3,6 м³/т [16]. Первый вариант – цикличная технология с применением БВР на вскрышных и добычных работах. Оборудование на вскрышных работах – экскаваторы ЭКГ-1500К производства ОМЗ с объемом ковша 40 м³, автосамосвалы БелАЗ – 7501 (280 т). Буровые станки СБШ-250 МНА-32. Выбор такой высокопроизводительной техники объясняется большой мощностью вскрыши (междупластий) от 14 до 68 м и значительным объемом горных работ. На добычных работах – экскаваторы ЭКГ-10 с емкостью ковша 10 м³, позволяющие производить лучшую селекцию при выемке тонких угольных пластов. Доставка угля с верхних горизонтов до промышленной площадки 130-тонными автосамосвалами БелАЗ-75131, буровые станки СБШ-160. На нижних горизонтах, где фронт работ более

Таблица 9. Определение экономической эффективности инвестиций
Table 9. Determination of the economic efficiency of investments

Показатель	Годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Капитальные вложения (инвестиционные затраты), млн руб.	(2515)									
2. Доход от реализации мероприятия, млн руб.	3103	3318	3187	2996	3249	2234	2973	2658	2643	
3. Чистый денежный поток, млн руб. (п.2–п.1)	588	803	672	481	734	–281	458	143	128	
4. Коэффициент дисконтирования $Vt = (1 + e)^{-1}$ (e = 10 %)	0,909	0,826	0,751	0,683	0,620	0,564	0,513	0,466	0,424	
5. Чистая текущая дисконтированная прибыль	588	803	672	481	734	–281	458	143	128	
6. ЧДД, млн руб.					3731					

Таблица 10. Исходные данные
Table 10. Initial data

Показатель	Уголь
1. Объемы добываемого полезного ископаемого всего, тыс. т	13 810
2. Количество потерь, которых можно избежать за счет применения технологии селективной выемки горными комбайнами КСМ-2000Р, тыс. т	424
3. Цена полезного ископаемого, руб./т	3500

Таблица 11. Определение экономической эффективности инвестиций
Table 11. Determination of the economic efficiency of investments

Показатель	Годы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Капитальные вложения (инвестиционные затраты), млн руб.	(2436)									
2. Доход от реализации мероприятия, млн руб.	3504	3543	3442	3237	3510	2368	3109	2810	2720	
3. Чистый денежный поток, млн руб. (п.2–п.1)	1068	1107	1006	801	1074	–71	673	374	264	
4. Коэффициент дисконтирования $Vt = (1 + e)^{-1}$ (e = 10 %)	0,909	0,826	0,751	0,683	0,620	0,564	0,513	0,466	0,424	
5. Чистая текущая дисконтированная прибыль	1068	1107	1006	801	1074	–71	673	374	264	
6. ЧДД, млн руб.					6296					

протяженный (3–3,7 км) и находятся самые мощные пласты, на добычных работах рассмотрены экскаваторы ЭКГ-15ХЛ с емкостью ковша 15 м³, 220-тонные автосамосвалы БелАЗ-7530, буровые станки СБШ-160.

Второй вариант – на вскрышных работах та же цикличная технология с соответствующим набором оборудования, а на добыче – комбайны КСМ-2000Р в комплексе с автосамосвалами и конвейерами.

Третий вариант – для разработки вскрыши используются мехлопаты и частично КСМ-2000Р с автотранспортом. Как показали расчеты, до 30 % вскрышных пород Эльгинского месторождения могут разрабатываться комбайнами КСМ-2000Р, в том числе с предварительным разупрочнением с помощью ПАВ. При этом средняя производительность может составить до 1000 м³/ч. На добычных работах применяются, как и во

Таблица 12. Количество вредных выбросов
Table 12. The amount of harmful emissions

Основные технологические процессы	Масса выбросов, т/год						Сумма платы за выбросы, руб./год
	Пыль неорганическая, до 20 % SiO ₂	Углерод, окись	Азот (IV), оксид	Взвешенные вещества	Азот (II), оксид	Углерод черный, сажа	
<i>1-й вариант</i>							
БВР:							
1. По углю	540,1	39,7	57,3	353,3	–	–	42 672,7
2. По вскрыше	4103,8	840,3	929,9	2735,8	–	–	260 893,1
<i>Выемочно-погрузочные работы (ВПР)</i>							
1. По углю	325,5	–	–	217,0	–	–	132 777,7
2. По вскрыше	3260,7	–	–	2173,8	–	–	208 141,3
Транспортирование:							
1. По углю	15 522,0	802,0	2219,2	10 348,8	360,6	90,8	1 371 008,6
2. По вскрыше	13 987,0	1831,0	5720,5	9324,7	828,2	135,0	1 840 259,0
Всего:							
1. По углю	16 317,6	841,7	2276,5	10 872,1	360,6	90,8	1 546 459,0
2. По вскрыше	21 351,5	2671,3	6650,4	14 234,3	828,2	135,0	2 309 293,4
Итого	37 669,1	3513,0	8926,9	25 106,4	1188,8	225,8	3 855 752,4
<i>2-й вариант</i>							
БВР, вскрыша	4103,8	840,3	929,9	2735,8	–	–	260 893,1
ВПР:							
1. На вскрыше	3260,7	–	–	2173,8	–	–	208 141,3
2. На добыче	14,0	–	–	9,3	–	–	892,4
Транспортирование							
Автотранспорт:							
1. По углю	2683,8	141,0	392,0	1789,2	63,7	16,2	238 502,0
2. По вскрыше	13 987,0	1831,0	5720,5	9324,7	828,2	135,0	1 840 259,0
Конвейеры:							
1. По углю	1023,5	–	–	682,3	–	–	39 200,0
Всего:							
1. По углю	3721,3	141,0	392,0	2480,8	63,7	16,2	278 594,4
2. По вскрыше	21 351,5	2671,3	6650,4	14 234,3	828,2	135,0	2 309 293,4
Итого	25 072,8	2812,3	7042,4	16 715,1	891,9	151,2	2 587 887,8
<i>3-й вариант</i>							
БВР, вскрыша	2248,0	455,0	503,3	1499,0	–	–	217 556,0
ВПР:							
ЭКГ-1500К, ОМЗ, на вскрыше	2282,5	–	–	1521,6	–	–	145 697,0
КСМ-2000Р на вскрыше	15,1	–	–	10,2	–	–	969,0
КСМ-2000Р на добыче	14,0	–	–	9,3	–	–	892,4
Транспортирование							
Автотранспорт:							
1. По углю	2683,8	141,0	392,0	1789,2	63,7	16,2	238 502,0
2. По вскрыше	13 999,0	1477,6	4085,5	9332,7	663,7	114,3	1 581 609,4
Конвейеры:							
1. По углю	1023,5	–	–	682,3	–	–	39 200,0
Всего:							
1. По углю	2697,8	141,0	392,0	2480,8	63,7	16,2	278 594,4
2. По вскрыше	18 544,6	1932,6	4588,8	12 363,5	663,7	114,3	1 945 831,4
Итого	21 242,4	2073,6	4980,8	14 844,3	727,4	130,5	2 224 425,8

втором варианте, комбайны КСМ с автотранспортом и конвейерами.

С использованием программного комплекса НПО «Интеграл», «Горные работы»; «АТП-Эколог» в соответствии с «Методикой расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей)» (Люберцы, 1999); «Мето-

дикой проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом)» (М., 1998), по рассматриваемым вариантам были произведены расчеты количества вредных выбросов. Проведены расчеты платы за выбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду. Результаты расчетов приведены в табл. 12.

Наименьшая удельная плата за вредные выбросы составила при третьем варианте: на добыче угля – 9,3 руб./тыс. т, при разработке вскрыши соответственно – 17,9 руб./тыс. м³.

Как показывает анализ, основными источниками загрязнения атмосферы являются: автотранспорт, буровзрывные и погрузочно-разгрузочные работы. При этом максимальный объем вредных выбросов при добыче угля образуется в случае применения циклической технологии с предварительной буровзрывной подготовкой (1-й вариант). Выбросы по пыли и взвешенным веществам в первом варианте в 1,5 и 1,7 раз больше, чем во втором и соответственно третьем вариантах. Наименьшие выбросы окиси углерода – 2073 т, диоксида азота – 4981 т и оксида азота – 727 т составляют по третьему варианту, что в среднем в 1,7 раза меньше, чем при первом варианте с циклической технологией.

Таким образом, из рассмотренных технологических вариантов разработки месторождения, с экологической

точки зрения, применение безвзрывной технологии на базе комбайнов КСМ с автосамосвалами и конвейерным транспортом на добычных работах в 1,5 раза уменьшит негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с циклической технологией. При этом частичное применение КСМ на вскрышных работах позволит еще больше снизить негативное воздействие – до 1,7 раза.

Выводы

В целом применение безвзрывной технологии на базе комбайнов КСМ для разработки Эльгинского месторождения является наиболее экономически эффективным, кроме того, она позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, в том числе уменьшить простои карьера из-за загазованности после массовых взрывов, сократить потери и повысить качество добываемого угля. Перечисленные факторы являются особенно важными с учетом территориального расположения месторождения и существующих экологических требований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твердых полезных ископаемых / В. И. Ческидов [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 276 с.
2. Комплексное освоение недр: перспективы расширения минерально-сырьевой базы России / ред. К. Н. Трубецкой [и др.]. М.: ИПКОН РАН, 2009. 454 с.
3. Моделирование тепловых процессов в горном массиве при открытой разработке россыпей криолитозоны / А. С. Курилко [и др.]. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2011. 139 с.
4. Хосоев Д. В. Анализ методик расчетов производительности для комбайнов типа КСМ на Эльгинском месторождении // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. № 4. С. 7–16. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2022-4-7-16>
5. Шемякин С. А., Матвеев Д. Н., Чебан А. Ю. Экономическое обоснование эффективности безвзрывной селективной выемки полезного ископаемого и вмещающих пород с использованием технико-технологических комплексов на основе фрезерных комбайнов // Горный журнал. 2015. № 2. С. 43–46. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.02.07>
6. Мировая горная промышленность. История. Достижения. Производство. М.: НТЦ «Горное дело», 2005. 520 с.
7. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых / А. Р. Маттис [и др.]; отв. ред. В. Н. Опарин. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 336 с.
8. Краснянский Г. Л., Штейнцвайг 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.
9. Алешин Б. Г., Коваленко С. К., Виноцкий К. Е., Шендеров А. И., Штейнцвайг Р. М. Конструктивно-технологические особенности и перспективы применения машин типа КСМ на разрезах России // Горный вестник. 1996. № 4. С. 13–19.
10. Хосоев Д. В. Оценка горнотехнических условий Эльгинского месторождения с позиции применения горных комбайнов // Горная промышленность. 2016. № 6(130). С. 81–83.
11. Ермаков С. А., Хосоев Д. В. Оценка эффективности селективной разработки сложноструктурных угольных пластов Эльгинского месторождения // Горная промышленность. 2018. № 2(138). С. 73–74. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-73-74>
12. Наговицин О. В., Лукичев С. В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения // Проблемы недропользования. 2016. № 4. С. 69–73.
13. Лукичев С. В. Цифровое прошлое, настоящее и будущее горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. 2021. № 4. С. 73–79. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79>
14. Техничко-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов железной руды Сиваглинского месторождения. Т. 5. Кн. 1. Экономическая часть. Определение параметров кондиций: доп. соглашение № 7 от 29.04.2015 г. к Договору № 75 от 16.05.2011 г. В 5 т, 9 кн., 2 папках.
15. Ермаков С. А., Хосоев Д. В. Технолого-экологическая оценка безвзрывной разработки вскрышных пород и углей Эльгинского месторождения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-1. С. 56–58.
16. Баулин А. В., Бабенко О. Б., Белинкин А. А. Освоение Эльгинского каменноугольного месторождения // Уголь. 2002. № 1. С. 22–23.

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2022 года

Technical and economic comparison of options for the development of complex structural formations of the Elga field

Dorzho Vladimirovich KHOSOEV*

N. V. Chersky Institute of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

Abstract

Relevance. In the conditions of the North, with a chronic shortage of material and energy resources in the extraction of minerals, the search for optimal technical, economic and environmental indicators is an urgent and urgent problem.

The purpose of the work is to show the effectiveness of the use of KSM-2000R combines in the development of coal seams of a complex structure in the Elga deposit.

Methodology: Perform comparative feasibility studies for options using cyclic and non-explosive technology using KSM-2000R combines.

Results. An analysis of the calculations performed showed that in the first option with cyclic technology, the structure by cost elements was 34.8% for electricity, 33.2% for depreciation, 28.3% for materials and 3.7% for labor costs. In the variant with the use of combines of the KSM-2000R type, the maximum cost indicators are 36.7% for depreciation, 29.7% for electricity, 27.9% for materials and 5.5% for labor costs. Calculations showed that when using combine harvesters, the cost of mining 1 ton of coal decreased by all elements by more than 27% compared to the cyclic technology. Also, the payroll number of workers decreased by 6 people and amounted to 30 people. In addition, the average monthly labor productivity of a worker in a team increased and amounted to 4046 tons / month.


Conclusions. Feasibility studies have been performed, on the basis of which it has been shown that the use of KSM-2000R combines is quite effective in the development of coal seams of complex structure. The conditional annual savings amounted to 57.248 thousand rubles with the non-explosive technology variant compared to the cyclic technology variant. Net present value (NPV) for nine years when using KSM-2000R combines amounted to 6296 million rubles. From an environmental point of view, the use of non-explosive technology based on KSM combines with dump trucks and conveyor transport at mining operations will reduce the negative impact on the environment by 1.5 times compared to cyclic technology. At the same time, the partial use of CCM in stripping operations will further reduce the negative impact – up to 1.7 times.

Keywords: cyclic technology, mining machine, non-explosive technology, coal seam, economic efficiency, materials, depreciation, prime cost.

REFERENCES

- 2010, Ways to improve the efficiency and environmental safety of open mining of solid minerals. V. I. Cheskidov [et al.]; Novosibirsk, 276 p. (*In Russ.*)
- 2009, Comprehensive development of subsoil: prospects for expanding the mineral resource base of Russia. Ed. by K. N. Trubetskoy [et al.]. Moscow, 454 p. (*In Russ.*)
- 2011, Modeling of thermal processes in a rock mass during open-pit mining of permafrost placers. A. S. Kurilko [et al.]. Novosibirsk, 139 p. (*In Russ.*)
- Khosoev D. V. 2022, Analysis of methods for calculating productivity for combines of the KSM type at the Elga field. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 7–16. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2022-4-7-16>
- Shemyakin S. A., Matveev D. N., Cheban A. Yu. 2015, Economic substantiation of the effectiveness of non-explosive selective extraction of minerals and host rocks using technical and technological complexes based on milling combines. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 2, pp. 43–46. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.02.07>
- 2005, World mining industry. History. Progress. Production. Moscow, 520 p. (*In Russ.*)
- 2007, Non-explosive technologies of open mining of solid minerals. Mattis [et al.]. Ed. by V. N. Oparin. Novosibirsk, 336 p. (*In Russ.*)
- Krasnyansky G. L., Shteintsaig R. M., Rudol'f W., Kovalenko S. K. 1998, Experience in creating and prospects for the development of new generation machines KSM-2000RM in the mining industry. *Ugol* [Coal], no. 4, pp. 16–21. (*In Russ.*)
- Aleshin B. G., Kovalenko S. K., Vinit'skiy K. E., Shenderov A. I., Shteintsaig R. M. 1996, Structural and technological features and prospects for the use of machines of the KSM type in the open pits of Russia. *Gornyy vestnik* [Mining Bulletin], no. 4, pp. 13–19. (*In Russ.*)
- Khosoev D. V. 2016, Evaluation of the mining conditions of the Elga deposit from the standpoint of the use of mining machines. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 6(130), pp. 81–83. (*In Russ.*)
- Ermakov S. A., Khosoev D. V. 2018, Evaluation of the efficiency of selective mining of complex-structural seams of the Elga coal deposit *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 2(138), pp. 73–74. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-73-74>
- Nagovitsyn O. V., Lukichev S. V. 2016, Mining and geological information systems, scope and construction features. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of subsoil use], no. 4, pp. 69–73. (*In Russ.*)
- Lukichev S. V. 2021, Digital Past and Future of Mining Enterprises. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 4, pp. 73–79. (*In Russ.*) <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-73-79>

✉ hosoev70@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1466-8509>

14. Feasibility study (feasibility study) of permanent exploration conditions for calculating the iron ore reserves of the Sivaglinskoye deposit. Vol. 5. Book 1. Economic part. Determination of condition parameters: additional agreement No. 7 dated April 29, 2015 to Agreement No. 75 dated May 16, 2011. In 5 vols, 9 books, 2 folders. *(In Russ.)*
15. Ermakov S. A., Khosoev D. V. 2013, Technological and environmental assessment of non-explosive development of overburden rocks and coals of the Elga deposit. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], no. 8-1, pp. 56–58. *(In Russ.)*
16. Baulin A. V., Babenko O. B., Belinkin A. A. 2022, Development of the Elga coal deposit. *Ugol'* [Coal], no. 1, pp. 22–23. *(In Russ.)*

The article was received on September 26, 2023