

Оценка эффективности реконструкции и перспектив развития циклично-поточной технологии горных работ на Бачатском угольном разрезе

Лель Ю. И.^{1*}, Исаков С. В.¹, Мусихина О. В.¹, Костин А. Л.¹, Ганиев Р. С.¹

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*e-mail: lel49@mail.ru

Реферат

Цель работы – анализ опыта эксплуатации, технико-экономическая оценка применения и перспектив развития циклично-поточной технологии (ЦПТ) горных работ в филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» Бачатском угольном разрезе.

Актуальность исследований. Внедрение циклично-поточной технологии является одним из основных направлений повышения эффективности горных работ при разработке глубоких рудных карьеров и угольных разрезов. В связи с этим весьма актуальным становится вопрос выявления основных причин низкой эффективности указанной технологии на Бачатском угольном разрезе и оценки перспектив ее применения при дальнейшем развитии горных работ.

Методика проведения исследований. При решении поставленной задачи был проведен анализ проектной документации и фактических показателей эксплуатации комплекса ЦПТ на Бачатском угольном разрезе за 2010–2017 гг., рассмотрены технологические решения по вариантам реконструкции комплекса на перевозках вскрышных пород на Южный отвал и варианту строительства нового комплекса ЦПТ на восточном борту разреза, произведена экономическая оценка вариантов и определены перспективы применения ЦПТ при дальнейшей разработке разреза. Использовались методы экономико-математического моделирования, технико-экономического и горно-геометрического анализа.

Результаты. Установлено, что наиболее эффективным вариантом является полный демонтаж существующего комплекса ЦПТ и переход на транспортирование вскрыши на Южный отвал автомобильным транспортом. Предложены технологические решения по строительству нового комплекса ЦПТ на восточном борту разреза. Обоснованы месторасположение, состав комплекса и конструкция дробильно-перегрузочного пункта. На основе экономических расчетов сделан вывод о высокой эффективности ЦПТ при перевозке вскрышных пород на Восточный отвал разреза.

Область применения результатов. Полученные результаты могут найти применение в практике проектирования и эксплуатации угольных предприятий с открытым способом разработки, что позволит избежать ошибочных решений, допущенных при проектировании и выборе оборудования ЦПТ на Бачатском разрезе.

Ключевые слова: циклично-поточная технология; разрез; автотранспорт; конвейер; дробильно-перегрузочный пункт; объем перевозок; себестоимость; эффективность; реконструкция.

Введение. В настоящее время циклично-поточная технология открытых горных работ (ЦПТ) с автомобильно-конвейерным транспортом применяется на многих отечественных и зарубежных карьерах для транспортирования руды, угля и вскрышных пород. Внедрение ЦПТ позволяет сократить расстояние транспортирования горной массы автомобильным транспортом, поддерживая его в пределах, близких к оптимальным значениям, сократить общее расстояние перевозок и существенно снизить эксплуатационные затраты на транспортирование и отвалообразование. Особенно эффективна ЦПТ в глубоких карьерах, так как себестоимость подъема горной массы ленточными конвейерами при величине угла подъема 15°–18° в 3,0–3,5 раза ниже себестоимости подъема автотранспортом на ту же высоту [1–6].

В связи с этим приобретает актуальность исследование основных причин низкой эффективности циклично-поточной технологии на одном из ведущих предприятий ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – Бачатском угольном разрезе – и оценка перспектив ее применения при дальнейшей разработке месторождения.

Анализ проектных решений и опыта эксплуатации комплекса ЦПТ на Бачатском разрезе. Комплекс ЦПТ на Бачатском угольном разрезе был спроектирован ООО «КЭНЭС» (*Проектная документация на строительство «комплекса циклично-поточной технологии» (ЦПТ-1 технологическая линия) вскрышных работ филиала ОАО «Кузбассразрезуголь» – Бачатский угольный разрез. Том 1–10. Люберцы: ООО «КЭНЭС», 2010. 760 с.*). Проект базировался на разработках УкрНИИпроекта, ОАО «Сибгипрошахт» и ЗАО «Гипроуголь» по обновлению и внедрению ЦПТ на разрезе «Бачатский», выполненных в 1988–2004 гг.

Таблица 1. Технические характеристики оборудования ЦПТ
Table 1. Engineering data of CFT equipment

Характеристика оборудования	Конвейер					ОШС-4000/125*	ДПА-ММД-1300**
	Забойный	Наклонный	Магистральный	Передаточный	Отвальный		
Длина, м	526	540	1750	1460	1670	125	28
Лента:							
тип	Резинотросовая						Резинотканевая
ширина, м	2,00						2,00
скорость, м/с	3,15						4,25
Двигатели на приводной станции:							
марка	АОК 99/45					АОК 2	Асинхронный
количество, шт.	6	6	6	3	4	2	2
мощность, кВт	630					500	375
Редукторы приводной станции, марка, количество, шт.:							
КЦП 1250	2	2	2	3	4	–	–
2КЦП 1250	2	2	2	–	–	–	–
Угол наклона конвейера, град	4	15	2	0	0	15	2
Производительность, м ³ /ч:							
конвейера	4000	4000	4000	4000	4000	4000	–
дробилки	–	–	–	–	–	–	2000

* Отвалообразователь; ** дробильно-перегрузочный агрегат.

В 1990-х гг. за счет основной деятельности разреза были произведены подготовительные работы для строительства комплекса на южном борту. Однако дефицит материальных ресурсов и финансовый кризис конца 1990-х гг. не позволили завершить этап строительства и ввод в эксплуатацию комплекса. Комплекс ЦПТ был введен в эксплуатацию только в 2010 г. в границах первоочередного участка земельного отвода 135,8 га.

Комплекс предназначен для переработки и транспортирования скальных вскрышных пород плотностью в целике $2,5 \text{ т/м}^3$ на Бачатском угольном разрезе. Переработка заключается в дроблении кусков породы до 300–350 мм. Вскрышные породы доставляются автосамосвалами грузоподъемностью до 360 т в приемные пункты дробильно-перегрузочных пунктов, дробленая порода питателями подается на цепочку из 5 последовательно соединенных конвейеров с шириной ленты 2000 мм и далее – на отвальный конвейер и шагающий отвалообразователь, обеспечивающий укладку пород в отвал. Таким образом, комплекс ЦПТ включает две дробильных установки фирмы MMD-1300, 5 ленточных конвейеров общей протяженностью 4734 м с последующим удлинением до 5956 м и отвалообразователь ОШС-4000/125, предназначенный для транспортирования и складирования вскрышных пород с производительностью $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Техническая характеристика оборудования представлена в табл. 1.

Таблица 2. Сравнительные показатели экономической эффективности транспортирования и складирования вскрыши на Бачатском разрезе (проектные данные)

Table 2. Comparative indexes of economic efficiency of overburden transportation and piling at Bachatsky open pit (project data)

Показатель	Вариант	
	Автосхема	ЦПТ
Объем транспортирования и складирования, млн $\text{м}^3/\text{год}$	10,00	10,00
Себестоимость транспортирования и складирования, р./ м^3	121,09	86,91
Эксплуатационные затраты на транспортирование и складирование, млн р./год	1210,87	869,10
Суммарные эксплуатационные затраты за 2010–2016 гг., млн р.	8476,09	6083,70

Согласно проекту, основной эффект от внедрения ЦПТ должен был быть получен за счет снижения эксплуатационных затрат на транспортирование и складирование пород вскрыши. Ввод ЦПТ, наряду со снижением расстояния перевозок автотранспортом, должен был обеспечить уменьшение доли автоперевозок в общем объеме транспортирования вскрыши на 20–25 %. Проектная производительность комплекса ЦПТ составила $10 \text{ млн м}^3/\text{год}$.

Сравнительные показатели вариантов транспортирования вскрыши представлены в табл. 2.

Дополнительные капитальные вложения по варианту ЦПТ (1,934 млрд р.) должны были окупиться снижением себестоимости транспортирования и складирования вскрышных пород. Ежегодное снижение эксплуатационных затрат на транспортирование и складирование, согласно проектным расчетам, должно было составить 341,8 млн р., а срок окупаемости капитальных вложений – 5,7 года.

Следует отметить недостаточную достоверность экономических расчетов в проекте. В первую очередь это касается себестоимости перевозки автотранспортом (вариант автосхемы). В проекте она составляет $121,09 \text{ р./м}^3$ и явно завышена. В настоящее время при расстоянии перевозок вскрыши автосамосвалами БелАЗ-75302 (БелАЗ-75306) 5,3–6,2 км себестоимость перевозки составляет $65,6\text{--}84,5 \text{ р./м}^3$.

Себестоимость транспортирования и складирования вскрыши (C_B^A , р./ м^3) при варианте с автодоставкой рассчитывается по формуле:

$$C_B^A = C_a l_a \gamma + C_o, \quad (1)$$

где C_a – себестоимость транспортирования вскрыши автосамосвалами, р./т · км; l_a – расстояние транспортирования вскрыши, км; γ – плотность вскрышных пород, т/ м^3 ; C_o – себестоимость бульдозерного отвалообразования, р./ м^3 .

В проектных расчетах использовалась себестоимость транспортирования вскрыши автотранспортом, близкая к фактической ($C_a = 5,78$ р./т · км), но вместо фактического расстояния транспортирования по автосхеме ($l_a = 5,9$ км) было принято приведенное расстояние ($l_a = 8,9$ км). Приведенное расстояние – это условное расстояние по горизонтальной карьерной автодороге, при котором производительность автосамосвала равна производительности при работе на реальной трассе глубокого карьера. Такой метод используется в «Единых нормах выработки...» для расчета производительности автосамосвалов в глубоких карьерах (*Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Ч. IV. Эскавация и транспортирование горной массы автосамосвалами. М.: НИИ труда, 1985. 42 с.*). Однако в этом случае надо корректировать и себестоимость транспортирования, которая на горизонтальной трассе будет гораздо ниже, чем на реальной в глубоком карьере. Таким образом, на стадии проектных расчетов эффективность ЦПТ на Бачатском разрезе была явно завышена.

Рассмотрим фактические показатели работы комплекса ЦПТ за период 2010–2017 гг. (табл. 3).

Таблица 3. Фактические показатели производительности комплекса ЦПТ на Бачатском разрезе

Table 3. Actual indexes of CFT complex performance at Bachatsky open pit

Показатель	Год							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Производительность комплекса ЦПТ, млн м ³ /год	0,315	1,13	3,774	4,033	3,521	2,793	1,759	1,167
Производительность, в % (от проектной)	3,15	11,3	37,7	40,3	35,21	27,9	17,6	11,7

Как видно из табл. 3, комплекс ЦПТ за 8 лет эксплуатации так и не достиг проектной производительности 10 млн м³ в год. Максимальная производительность 4,033 млн м³ была достигнута в 2013 г., затем она постоянно снижалась. В 2017 г. производительность комплекса была 1,167 млн м³, что составило 11,7 % от проектной. Основная причина заключалась в низкой надежности работы оборудования, в первую очередь дробильно-перегрузочной установки, оборудованной двумя шнековыми двухвалковыми дробилками MMD-1300 английского производства. Опыт эксплуатации показал несоответствие рабочих параметров дробилок физико-механическим свойствам вскрышных пород Бачатского угольного разреза. Существенным недостатком валковых дробилок является интенсивное и неравномерное изнашивание рабочих поверхностей валков (бандажей) при обработке прочных и абразивных пород. Простои комплекса ЦПТ на 65–70 % были обусловлены простоями по вине дробильно-перегрузочного агрегата (ДПА). Основными причинами простоев ДПА являются аварийные ремонты и отсутствие запчастей. В 2018 г. в рабочем состоянии находилась одна дробилка (MMD-1300 № 1), которая физически не в состоянии обеспечить проектную производительность комплекса даже при безаварийной работе.

Низкая надежность и производительность комплекса ЦПТ обусловили высокую себестоимость транспортирования и укладки пород конвейерным транспортом. В 2017 г. себестоимость транспортирования и укладки пород комплексом составила 219,3 р./м³, что в 2,6–3,3 раза выше себестоимости перевозки пород по автосхеме. Наибольшую долю в себестоимости составили амортизация (61 %) и затраты на ремонт оборудования комплекса (13,7 %).

Полная себестоимость перевозки пород по схеме ЦПТ ($C_B^{ЦПТ}$, р./м³) определяется по формуле:

$$C_B^{ЦПТ} = C_B^{CA} + C_{ЦПТ},$$

где C_B^{CA} – себестоимость транспортирования пород сборочным автотранспортом, р./м³; $C_{ЦПТ}$ – себестоимость транспортирования и складирования пород конвейерным транспортом, р./м³ ($C_{ЦПТ} = 219,3$ р./м³);

$$C_B^{CA} = C_a l_a \gamma,$$

где C_a – себестоимость транспортирования сборочным автотранспортом, р./т · км, $C_a = 5,46$; l_a – среднее расстояние транспортирования сборочным автотранспортом, км, $l_a = 1,7$; γ – плотность вскрышных пород, т/м³, $\gamma = 2,5$.

При расчетах получены: $C_B^{CA} = 23,2$ р./м³, $C_B^{ЦПТ} = 242,5$ р./м³.

Рассчитаем себестоимость перевозки и укладки вскрыши при варианте с автодоставкой, используя формулу (1). Примем среднее расстояние доставки до отвала $l_a = 7$ км и себестоимость бульдозерного отвалообразования $C_o = 4,23$ р./м³.

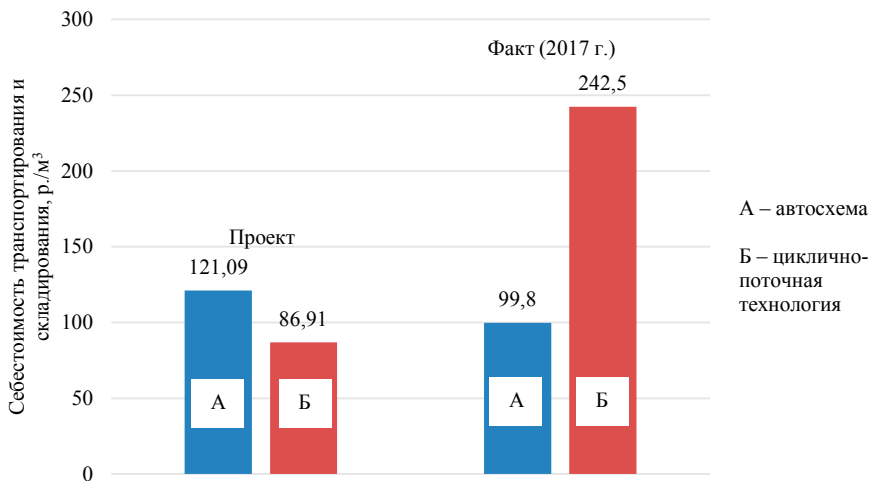


Рис. 1. Сравнение проектных и фактических показателей схем транспортирования вскрышных пород на Бачатском разрезе

Fig. 1. Comparing design and actual indexes of overburden transportation schemes at Bachatsky coal mine

Тогда $C_B^A = 99,8$ р./м³.

Убытки от эксплуатации комплекса ЦПТ, млн р.:

$$Y = (C_B^{ЦПТ} - C_B^A) Q_r,$$

где Q_r – годовой объем перевозки вскрыши по схеме ЦПТ, млн м³. При расчетах получено: $Y = 166,5$ млн р.

Таким образом, только в 2017 г. убытки от эксплуатации комплекса ЦПТ на Бачатском разрезе составили 166,5 млн р. (рис. 1).

Методология проведения исследований. В связи с неэффективностью эксплуатации существующего комплекса ЦПТ была проведена технико-экономическая оценка следующих вариантов.

Вариант 1. Демонтаж существующего комплекса ЦПТ и транспортирование вскрышных пород на отвал Южный в объеме 30,0 млн м³/год только технологическим автотранспортом. Вариант будет характеризоваться увеличением расстояния транспортирования вскрышных пород автотранспортом до 6,5–7,0 км и дополнительными капитальными затратами на приобретение автосамосвалов и бульдозерного оборудования.

Вариант 2. Реконструкция существующего комплекса ЦПТ с целью отработки запасов угля, расположенных под наклонным конвейером. Реконструкция заключается в демонтаже забойного, наклонного и части магистрального конвейеров, выносе приемных бункеров ДПА на дневную поверхность (отм. +290 м). Реконструкция предусматривает приобретение нового дробильного оборудования, соответствующего физико-механическим свойствам вскрышных пород разреза и обеспечивающего надежную работу комплекса ЦПТ.

Вариант 3. Строительство нового комплекса ЦПТ на восточном борту разреза (гор. ±0 м) с целью транспортирования вскрышных пород на отвал Восточный в объеме 10–12 млн м³/год.

Таблица 4. Экономическая оценка вариантов реконструкции ЦПТ
Table 4. Economic appraisal of CFT reconstruction variants

Показатель	Значение при варианте		
	1	2а	2б
Чистые дисконтированные затраты, млн р./%	<u>14 066</u> 100	<u>14 179</u> 100,8	<u>14 167</u> 100,7
Общая сумма эксплуатационных затрат, млн р./%	<u>16 372</u> 100	<u>16 838</u> 102,8	<u>16 732</u> 102,2
Общая сумма капитальных вложений, млн р./%	<u>2401,8</u> 100	<u>2018</u> 84,0	<u>2121</u> 88,3

При рассмотрении *варианта 2* (реконструкция) обоснована замена дробилок MMD-1300 на щековые дробилки ЩДП-15х21У, выпускаемые ПАО «Уралмашзавод» в мобильном (полустационарном) исполнении. Исходя из возможной годовой производительности конвейерного транспорта и отвалообразователя, равной 10 млн м³, к рассмотрению приняты варианты с двумя и тремя дробилками ЩДП-15х21У.

Вариант 2а: две дробилки ЩДП-15х21У, производительность комплекса 5,9 млн м³/год.

Вариант 2б: три дробилки ЩДП-15х21У, производительность комплекса 9,3 млн м³/год.

Оставшиеся из запланированных к укладке на Южный отвал объемы вскрыши (30,0 млн м³/год) предполагается перевозить по автосхеме.

Для экономической оценки вариантов использованы положения «Методических рекомендаций...» (*Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Официальное издание. М., 1994, 80 с. (утв. Госстроем России, Министерством экономики, Министерством финансов РФ, Госпланом России, № 7-12/47 от 31.03.94 г.)*) и «Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок» [7], а также результаты современных исследований отечественных и зарубежных авторов [8–11]. В качестве критерия выбора оптимального варианта использовалась сумма приведенных (дисконтированных) капитальных вложений и эксплуатационных расходов за период оптимизации 6 лет (с 2018 по 2023 гг.). В качестве года приведения был принят 2019 г. При расчетах учитывалась динамика себесто-

имости транспортирования горной массы автотранспортом при изменении расстояния транспортирования и высоты подъема горной массы [12].

При оценке *варианта 3* предусматривается устройство ДПА на горизонте ± 0 м восточного борта разреза, транспортирование вскрыши конвейерным подъемником с гор. ± 0 м на поверхность (гор. +260 м) на высоту 260 м, транспортирование конвейером по поверхности по слабонаклонному участку (уклон 2°) с гор. +260 м на гор. +305 м и укладка пород на Восточный отвал отвалообразователем. Производительность комплекса ЦПТ должна составлять 10 млн м^3 в год (25 млн т в год).

Результаты. Анализ и обсуждение. Результаты расчетов по *варианту 1* и *варианту 2* представлены в табл. 4.



Перечень объектов:

- 1 – ДПА;
- 2 – забойный конвейер;
- 3 – перегрузка № 1;
- 4 – наклонный конвейер;
- 5 – перегрузка № 2;
- 6 – горизонтальный конвейер;
- 7 – перегрузка № 3;
- 8 – передаточный конвейер;
- 9 – перегрузка № 4;
- 10 – отвальный конвейер;
- 11 – отвалообразователь ОШ-4000/125

Рис. 2. Схема транспортирования вскрыши на Восточный отвал (варианты 3б, 3в)

Fig. 2. Overburden transportation scheme to the dump Vostochny (variants 3б, 3в)

Установлено, что чистые дисконтированные затраты по вариантам отличаются на 0,7–0,8 %, что находится в пределах точности расчетов. Таким образом, можно сделать вывод о неэффективности реконструкции комплекса ЦПТ. Это объясняется значительными расстояниями транспортирования вскрыши сборочным автотранспортом до ДПА, расположенного на поверхности (4,5–5,7 км), и невысокой эффективностью работы конвейерного транспорта на горизонтальной трассе. Капитальные вложения по вариантам реконструкции (2а и 2б) на 11,7–16,0 % ниже, чем по варианту автосхемы (*вариант 1*), что объясняется значительными затратами на подвижной состав автотранспорта. В то же время следует отметить, что расчеты по вариантам реконструкции являются весьма оптимистичными, предполагающими надежную работу комплекса ЦПТ. С учетом

значительного износа конвейерного оборудования реальные показатели комплекса ЦПТ могут быть ниже расчетных.

Наиболее эффективным вариантом является полный демонтаж комплекса ЦПТ и переход на транспортирование вскрыши на Южный отвал автомобильным транспортом (*вариант 1*). В то же время часть несамортизированного оборудования комплекса ЦПТ с незначительным износом можно использовать при строительстве нового комплекса ЦПТ на восточном борту разреза. К такому оборудованию в первую очередь относится отвалообразователь ОШС-4000/125 (износ 11,6 %), модульные здания конвейеров (износ 11,5–12,6 %), перегрузка (износ 7,5–12,0 %) и др. Общая стоимость оборудования составляет 800–850 млн р.

Таблица 5. Экономическая оценка вариантов транспортирования вскрыши на Восточный отвал

Table 5. Economic appraisal of the variants of overburden transportation to the dump Vostochny

Показатель	Значение при варианте		
	3а	3б	3в
Чистые дисконтированные затраты, млн р./%	<u>8967,3</u> 100	<u>7972,2</u> 88,9	<u>7467,9</u> 83,3
Общая сумма эксплуатационных затрат, млн р./%	<u>7357,0</u> 100	<u>5729,0</u> 77,8	<u>5729,0</u> 77,8
Общая сумма капитальных вложений, млн р./%	<u>5253,2</u> 100	<u>5626,4</u> 106,6	<u>4826,4</u> 91,2

При обосновании *варианта 3* важнейшей задачей является выбор типа и конструкции конвейерного оборудования. К рассмотрению приняты крутонаклонные конвейеры и конвейеры в традиционном исполнении. Анализ условий эксплуатации крутонаклонных ленточных конвейеров на действующих и проектируемых горных предприятиях показывает, что наиболее эффективное и экономически оправданное применение данного вида транспорта достигается при углах наклона трассы более 34° [6]. Применительно к рассматриваемому варианту максимальный угол наклона нерабочего борта в месте установки ДПА составит 31,1°. При крутонаклонном конвейере появляется дополнительное звено горизонтального конвейера на поверхности, располагаемое на борту разреза вдоль нижней бровки существующего отвала, что небезопасно. Исходя из сказанного было принято решение применить в качестве транспортного звена обычный конвейер с углом наклона 14°, полученным за счет разворота оси трассы относительно перпендикуляра к борту на угол 48°. При этом выход на поверхность осуществлен в точке, позволяющей без значительного поворота трассы произвести дальнейшую транспортировку вскрыши на отвал (рис. 2).

Данное решение исключает необходимость строительства крутонаклонного конвейера на борту карьера.

В качестве дробильного оборудования обосновано применение ДПУ на базе конусной дробилки ККД-1500/230. Необходимая производительность комплекса обеспечивается одной дробилкой ККД-1500/230 производства ПАО «Уралмашзавод».

Были рассмотрены и сравнивались следующие варианты транспортирования вскрышных пород на Восточный отвал в объеме 10 млн м³ в год:

вариант 3а – перевозка вскрыши по автосхеме;

вариант 3б – перевозка вскрыши комплексом ЦПТ при использовании нового дробильно-конвейерного оборудования;

вариант 3в – перевозка вскрыши комплексом ЦПТ при частотном использовании оборудования демонтируемого комплекса.

Ввод комплекса ЦПТ на восточном борту разреза планируется в 2022 г. Расчет показателей по вариантам произведен за 6 лет с 2022 по 2027 г. (табл. 5).

Выводы и область применения результатов. В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективным вариантом является полный демонтаж существующего комплекса ЦПТ и переход на транспортирование вскрыши на Южный отвал автомобильным транспортом. В то же время итоговые финансовые результаты свидетельствуют об экономической эффективности строительства нового комплекса ЦПТ на восточном борту разреза по сравнению с автосхемой. Экономический эффект по суммарным дисконтированным затратам за 6 лет эксплуатации составит 995,1 млн р. при использовании нового оборудования комплекса ЦПТ и 1,5 млрд р. при частичном использовании оборудования демонтируемого комплекса. Экономический эффект получен в основном за счет снижения эксплуатационных расходов. В зависимости от года эксплуатации эксплуатационные расходы снижаются с 105,2–136,0 р./м³ при автосхеме до 88,6–102,0 р./м³ при использовании комплекса ЦПТ, т. е. на 18,6–33,3 %. Вариант с частичным использованием оборудования демонтируемого комплекса ЦПТ позволяет также сократить капитальные затраты на 9,0 % по сравнению с автосхемой и на 16,4 % по сравнению с комплексом при использовании нового оборудования.

Полученные результаты могут найти применение в практике проектирования и эксплуатации угольных предприятий с открытым способом разработки, позволяя избежать ошибочных решений, допущенных при проектировании и выборе оборудования ЦПТ на Бачатском разрезе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев В. Л., Корнилов С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья. Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 360 с.
2. Яковлев В. Л., Кармаев Г. Д., Берсенева В. А., Сумина И. В. Новые решения в развитии циклично-поточной технологии // Горный журнал. 2016. № 10. С. 54–64.
3. Яковлев В. Л., Кармаев Г. Д., Берсенева В. А., Сумина И. Г. О моменте ввода циклично-поточной технологии на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 4–11.
4. Федоров А. В., Горев Д. Е. Использование циклично-поточных технологий на добыче угля в целях повышения операционной эффективности работы разрезов // ГИАБ. 2014. № 6. С. 131–140.
5. Ясюченя С. В., Опанасенко П. И., Исaiченков А. Б. Проблемы и перспективы циклично-поточной технологии при открытой разработке угольных и рудных месторождений // Рациональное освоение недр. 2014. № 3. С. 52–60.
6. Кармаев Г. Д., Глебов А. В. Выбор горнотранспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. 296 с.
7. Хохряков В. С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок. Екатеринбург: УГГА, 1996. 180 с.
8. Яковлев В. Л., Кармаев Г. Д., Берсенева В. А., Глебов А. В., Семёнкин А. В., Сумина И. Г. Об эффективности применения циклично-поточной технологии горных работ на карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 1. С. 100–109.
9. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review // Interfaces. 2014. No. 44(2). P. 143–162.
10. Burt C., Cacceta L. Equipment selection for mining: with case studies. 2018. 155 p.
11. Runge I. Economics of mine planning and equipment selection // Mine Planning and Equipment Selection (MPES). 2010. P. 100.
12. Смирнов В. П., Лель Ю. И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.

Поступила в редакцию 10 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Лель Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: lel49@mail.ru

Исаков Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: hemul92@mail.ru

Мусихина Ольга Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: musihina_o@mail.ru

Костин Александр Львович – старший преподаватель кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: compservis@list.ru

Ганиев Руслан Салаватович – старший преподаватель кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: sunmail2003@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-14-24

Estimating the efficiency of reconstruction and the prospects of developing cyclic-flow technology of mining at Bachatsky coal mine

Iurii I. Lel¹, Sergei V. Isakov¹, Olga V. Musikhina¹, Aleksandr L. Kostin¹, Ruslan S. Ganiev¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Research aim is to analyse the experience of operation and provide the technical-economic estimate of the cyclic-flow technology (CFT) application and prospects at Bachatsky coal mine, which is a branch of UK Kuzbassrazrezugol OAO.

Research relevance. The introduction of the cyclic-flow technology is a priority direction of upgrading mining when developing deep ore pits and coal mines. It is therefore relevant to discover the basic reasons why the mentioned technology is inefficient at Bachatsky coal mine and estimate the prospects of its application with further development of mining.

Research methodology. When performing the set task, project documentation and actual operation indexes of CFT at Bachatsky coal mine were analysed for the period of 2010–2017, process design solutions were considered for the variants of reconstruction into the complex of overburden transportation to the dump Iuzhny and the variant of a new CFT complex construction at the eastern pit edge, economic appraisal of the variants was carried out, and the prospects for CFT application with further development of mining were estimated. The methods of economic and mathematical modeling, technical economic analysis and mining geometry analysis were used.

Results. It has been stated that the most efficient is the variant with the complete removal of the existing CFT complex and switch to overburden transportation to the dump Iuzhny by motor vehicles. Process design solutions on a new CFT complex construction at the eastern pit edge were proposed. The location and the structure of the complex and the structure of the crushing and dumping station were substantiated. Based on economic calculation, the conclusion has been made on high efficiency of CFT when transporting overburden to the pit dump Vostochny.

Research scope. The obtained results can be applied when designing and operating coal enterprises with opencast mining technology; it will make it possible to avoid erroneous solutions made at the design and CFT equipment selection at Bachatsky coal mine.

Key words: cyclic-flow technology; mine; motor vehicles; conveyor; crushing and dumping station; transportation load; prime cost; efficiency; reconstruction.

REFERENCES

1. Iakovlev V. L., Kornilov S. V., Sokolov I. V. *Innovation foundation for a strategy of mineral resources exploitation*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2018. (In Russ.)
2. Iakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Sumina I. V. New solutions in cyclic-flow technology development. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 10: 54–64. (In Russ.)
3. Iakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Sumina I. G. On the moment of introducing cyclic-flow technology at pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 3: 4–11. (In Russ.)
4. Fedorov A. V., Gorev D. E. Application of cyclic-flow technology for coal mining in order to improve the operating efficiency of the cuts. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 6: 131–140. (In Russ.)
5. Iasiuchenia S. V., Opanasenko P. I., Isaichenkov A. B. Problems and prospect of cyclic-flow technology at opencast development of coal fields and ore deposits. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining and Conservation*. 2014; 3: 52–60. (In Russ.)
6. Karmaev G. D., Glebov A. V. *Selecting mining transportation equipment for cyclic-flow pit technology*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2012. (In Russ.)
7. Khokhriakov V. S. *Estimating the efficiency of opencast mining investment projects*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 1996. (In Russ.)
8. Iakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Glebov A. V., Semenkin A. V., Sumina I. G. Efficiency of cyclical-and-continuous method in open pit mining. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2016; 1: 100–109. (In Russ.)
9. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review. *Interfaces*. 2014; 44(2): 143–162.

10. Burt C., Cacceta L. Equipment selection for mining: with case studies. 2018. 155 p.
11. Runge I. Economics of mine planning and equipment selection. *Mine Planning and Equipment Selection (MPES)*. 2010. P. 100.
12. Smirnov V. P., Lel Iu. I. *The theory of open-pit heavy automobile transport*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2002. (In Russ.)

Received 10 July 2019

Information about authors:

Iurii I. Lel – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: lel49@mail.ru

Sergei V. Isakov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: hemul92@mail.ru

Olga V. Musikhina – PhD (Engineering), Associate professor, associate professor of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: musikhina_o@mail.ru

Aleksandr L. Kostin – senior lecturer, Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: compservis@list.ru

Ruslan S. Ganiev – senior lecturer, Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: sunmail2003@mail.ru

Для цитирования: Лель Ю. И., Исаков С. В., Мусихина О. В., Костин А. Л., Ганиев Р. С. Оценка эффективности реконструкции и перспектив развития циклично-поточной технологии горных работ на Бачатском угольном разрезе // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 7. С. 14–24. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-14-24

For citation: Lel Iu. I., Isakov S. V., Musikhina O. V., Kostin A. L., Ganiev R. S. Estimating the efficiency of reconstruction and the prospects of developing cyclic-flow technology of mining at Bachatsky coal mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 7: 14–24 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-7-14-24