

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271 : (622.682 + 622.684)

ВЫБОР СХЕМ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

В. Л. Яковлев¹, В. А. Берсенев¹, А. В. Глебов¹, С. С. Кулнияз², М. А. Маринин³

¹Институт горного дела УрО РАН,

E-mail: glebov@igduran.ru, ул. Мамина-Сибиряка, 58, 620219, г. Екатеринбург, Россия

²Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова,

E-mail: kulnyaz@mail.ru, просп. А. Молдагуловой, 34, 030000, г. Актюбе, Республика Казахстан

³Санкт-Петербургский горный университет,

E-mail: mihmarinin@ua.ru, Васильевский остров, 21 линия, 2, 199106, г. Санкт-Петербург, Россия

Изложены результаты исследований использования различных схем циклично-поточной технологии с помощью крутонаклонного конвейерного подъема. Установлено влияние угла наклона трассы конвейерного подъемника и высоты подъема горной массы на основные показатели работы дробильно-конвейерных комплексов. Приведены итоги технико-экономического анализа применения на Костомукшском карьере комплексов циклично-поточной технологии с мобильными дробильно-перегрузочными установками и крутонаклонными конвейерными подъемниками. Определены сравнительные величины капитальных и эксплуатационных расходов при различных углах установки такого подъемника на глубине карьера 100 и 600 м. Представлены данные сравнения различных схем вскрытия концентрационных горизонтов карьера, на которые перемещаются мобильные дробильно-перегрузочные установки, и показатели работы комплекса циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейерным подъемом на карьере Мурунтау (Навоийский горно-металлургический комбинат, Узбекистан).

Циклично-поточная технология, глубокие карьеры, мобильные дробильно-перегрузочные установки, крутонаклонный конвейерный подъем, концентрационный горизонт, горно-подготовительные работы

DOI: 10.15372/FTPRPI20190511

Развитие открытого способа добычи минерального сырья сопровождается непрерывным увеличением глубины разработки, при которой уменьшаются размеры рабочих площадок и длина фронта горных работ на карьерах, а также ухудшаются горно-геологические и горно-технические условия разработки месторождения.

Цель настоящей работы — обосновать методы адаптации инновационной технологии с применением крутонаклонного конвейерного подъемника при разработке рудных месторождений, позволяющего сэкономить материально-технические ресурсы и поднять производительность труда, тем самым повысить эффективность открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Компенсация отрицательного влияния фактора увеличения глубины разработки на экономические показатели горнорудных предприятий и обеспечение наращивания объемов добычи руды возможны за счет внедрения гибких технологических схем разработки при помощи максимально адаптированной к внутрикарьерной инфраструктуре горнотранспортной техники с большой единичной мощностью. Эффективность дальнейшей разработки глубоких карьеров определяется правильностью стратегии выбора технологии и техники при производстве горных работ. Для большинства карьеров таким приоритетным направлением остается циклично-поточная технология, эффективность которой доказана многочисленными научными и проектными разработками.

Известно, что с увеличением глубины карьера технологические показатели работы карьерного автотранспорта неизменно ухудшаются, несмотря на эксплуатацию автосамосвалов с большей грузоподъемностью. Например, при углублении карьера Мурунтау от 100 до 400 м производительность автосамосвалов грузоподъемностью 40 и 110 т снизилась соответственно в 2.0 и 2.9 раза. При увеличении глубины карьера до 600 м попытки улучшить показатели работы автотранспорта в связи с переходом на автосамосвалы грузоподъемностью 136, 170 и 190 т не дали положительных результатов.

Применение циклично-поточной технологии на карьере Мурунтау позволило сократить расстояние транспортировки руды автотранспортом на 30–40 % и количество автосамосвалов, работающих в карьере, снизить высоту подъема автосамосвалами на 50–70 % и уменьшить загазованность на 30 % [1].

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

По итогам исследований ИГД УрО РАН, эффективность использования комплексов циклично-поточной технологии, несмотря на значительную капиталоемкость, заключается в ресурсосбережении за счет уменьшения рабочего парка автосамосвалов циклического звена циклично-поточной технологии, снижения на 30–35 % себестоимости транспортирования 1 г горной массы, повышения на 25–35 % производительности труда и интенсификации горных работ. Анализ результатов деятельности отдельных карьеров, применяющих циклично-поточные технологии, показал, что резервы повышения эффективности на глубоких карьерах не исчерпаны. Перспективы развития циклично-поточной технологии должны основываться на прогрессивных технических и технологических решениях. Основные из них — это мобильные дробильно-перегрузочные установки в карьерах; крутонаклонный конвейерный подъем горной массы из карьеров до приемных пунктов на поверхности; рациональные схемы вскрытия концентрационных горизонтов; уменьшение сроков размещения дробильно-перегрузочных установок на концентрационном горизонте 1–2 года и сокращение длины транспортировки горной массы от экскаваторных забоев до дробильно-перегрузочной установки от 2–3 до 1–1.5 км.

В последние годы вопросы применения циклично-поточной технологии на карьерах как энерго- и ресурсосберегающей технологии разработки полезных ископаемых актуальны. Проблемам ее адаптации и совершенствования посвящено много публикаций. Например, возможности и целесообразность использования и освоения комплексов этой технологии на карьерах рассматриваются в [2–6], повышение производительности при помощи рациональных конструктивно-компоновочных схем элементов комплекса — в [7], снижение затрат комплексов за счет уменьшения количества автосамосвалов в циклическом звене — в [1]. Для дробления горной массы предлагаются различные типы дробильных установок в комплексах циклично-поточной технологии, приводится опыт реализации различного дробильного оборудования в конкретных условиях [1, 8], а также с внутрикарьерными дробильными установками [3, 8, 9].

Целесообразность применения крутонаклонных конвейерных подъемников обосновывается в [10–13]. Краткий анализ литературных источников показывает, что недостаточно полно освещены вопросы общей теории и времени ввода циклично-поточной технологии, перемещения дробильно-перегрузочных установок и проблемы вскрытия при устройстве на борту карьера крутонаклонных конвейеров.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

К основным недостаткам схем циклично-поточной технологии относится стационарный характер дробильно-конвейерных установок, эксплуатация которых противоречит динамике горных работ (понижение до 7–15 м/год) и условиям формирования технологических грузопотоков. Стационарность объектов обуславливает большой объем горно-капитальных и строительно-монтажных работ (до 75% общей стоимости комплексов), поэтому сроки строительства подобных комплексов составляют не менее 3–5 лет. Период использования дробильно-перегрузочного пункта на одном концентрационном горизонте — не менее 8–10 лет. Это предопределяет нерациональные условия работы сборочного автотранспорта: фактическое расстояние транспортирования горной массы на участке забой–дробильно-перегрузочный пункт достигает 3 км и более. При понижении горных работ и удлинении конвейерного подъемника возникают значительные “бросовые” затраты, связанные с ликвидацией ранее действующего дробильно-перегрузочного пункта, так как при конструктивном исполнении демонтируется только механическую часть (дробилку и питатели) для дальнейшего употребления, что составляет не более 28% общей стоимости пункта.

Проведенные исследования формирования рабочей зоны крупных железорудных карьеров России и Украины позволили выявить закономерности погоризонтно-временного распределения объемов добычи руды и выемки вскрыши в целом по карьере, а также для зон циклично-поточной технологии. Погоризонтный годовой объем добычи руды и породы для зоны применения циклично-поточной технологии составляет 1.5–2.5 млн т при высоте уступа 12–15 м. Для этой технологии характерен широкий диапазон изменения ширины рабочей зоны от 60 до 230 м и более.

С позиции обеспечения оптимального формирования рудных и породных грузопотоков в системах циклично-поточной технологии в нижней зоне глубокого карьера эксплуатируют несколько дробильно-перегрузочных установок, которые по мере углубления карьера периодически перемещают, обеспечивая сборочному автотранспорту рациональные условия работы (расстояние транспортирования до 1.0–1.5 км). Кроме того, следует предусмотреть формирование технологических грузопотоков на каждый дробильно-перегрузочный пункт не более чем с 5–7 горизонтов. При глубине карьера >250–300 м это соответствует грузопотоку руды или породы с нижних горизонтов в объеме 10–12 млн т в год.

Условия формирования рабочей зоны глубоких карьеров и пространственно-временное распределение объемов скальной горной массы обуславливают необходимость использования в технологических схемах циклично-поточной технологии мобильных дробильно-перегрузочных установок, конструктивное исполнение которых обеспечивает периодическое перемещение в карьерном пространстве по мере углубления карьера. В результате этого сохраняется относительно постоянным расстояние транспортирования руды от забойного экскаватора до мобильных дробильно-перегрузочных установок. Благодаря своим конструктивным особенностям они могут в кратчайшие сроки переноситься на новое место, осуществляя стабильную работу сборочного автотранспорта. К установкам, обеспечивающим высокую гибкость технологии в изменяющихся горнотехнических условиях разработки нижних горизонтов глубоких карьеров, относятся мобильные полустационарные дробильно-перегрузочные установки блочно-модульного исполнения производительностью 600, 1000 и 1350 м³/ч (до 6–12 млн т руды в год). Выбор типа мобильных дробиль-

но-перегрузочных установок, периодичность и шаг переноса устанавливаются на основе результатов оптимизации технологических грузопотоков за длительный период разработки. Более продуктивно использование дробильно-перегрузочных установок в комплексе с ленточными конвейерами в открытом исполнении с углом наклона от 15–16 до 35–45°.

Полная реализация эффективности новых технологических схем циклично-поточной технологии с мобильными дробильно-перегрузочными установками достигается при помощи крутонаклонного конвейерного подъема. По сравнению с традиционными ленточными, крутонаклонные конвейеры способны перемещать сыпучие материалы под углом до 50–60 и более градусов. Эта особенность сокращает до минимума объемы горно-капитальных работ при проведении вскрывающей траншеи на борту карьера, исключив дополнительный разнос борта, имеющий место при обычных конвейерах. Применение технологических схем циклично-поточной технологии с крутонаклонными конвейерным подъемом и мобильными дробильно-перегрузочными установками позволяет повысить эффективность открытого способа разработки на глубоких карьерах.

Влияние угла наклона трассы конвейерного подъемника и высоты подъема горной массы на основные показатели дробильно-конвейерных комплексов прослеживается по данным, приведенным в таблице. За 100 % приняты затраты на дробильно-конвейерные комплексы в целом и по отдельным элементам. Что касается доли капитальных затрат на оборудование и горно-капитальные работы, то она составляет соответственно 58–63 и 37–41 % (высота подъема 100 м), изменяясь до 25–39 и 60–75 % (высота подъема 600 м). Доля эксплуатационных расходов на оборудование достигает 84–89 % (высота подъема 100 м) и 58–71 % (высота подъема 600 м). Удельные эксплуатационные расходы на комплексы изменяются в пределах 23–24 % (высота подъема 100 м) и 18–21 % (высота подъема 600 м) от удельных капитальных затрат.

Показатели дробильно-конвейерных комплексов при различных углах наклона конвейерных подъемников

Показатель	Угол наклона конвейерных подъемников, град									
	18		25		35		45		60	
Производительность, млн т/год	20		20		20		20		20	
Высота подъема горной массы, м	100	600	100	600	100	600	100	600	100	600
Длина конвейерного подъемника, м	325	1950	240	1430	180	1070	145	860	120	700
Число конвейерных ставов в линии	1	5	1	4	1	3	1	3	1	3
Ширина конвейерной ленты, мм:										
грузонесущей	1400	1400	1400	1600	1600	1800	1600	1800	1600	1800
грузоудерживающей	—	—	1400	1600	1400	1600	1400	1600	1400	1600
Расчетная мощность двигателей, кВт	1790	11730	1720	12100	1750	11670	1715	11350	1710	11300
Масса конвейерного оборудования, т	292	1761	304	1859	294	1697	269	1567	252	1482
Относительные капитальные затраты, %:										
на дробильно-конвейерное оборудование	100	552	99.4	519	97	442	94	393	93	347
на горно-капитальные работы	100	1002	94	866	89	704	87	607	84	511
Относительные эксплуатационные расходы, %:										
на дробильно-конвейерное оборудование	100	449	110	459	109	405	102	356	102	338
на погашение горно-капитальных работ	100	290	104	331	103	304	96	270	96	263
Относительные удельные капитальные затраты, %	100	955	87	827	87	673	83	582	82	491
Относительные удельные эксплуатационные расходы, %	100	542	97	508	95	436	92	389	91	340
Относительные удельные эксплуатационные расходы, %	100	417	100	433	100	433	100	333	95	317

О перспективности мобильных дробильно-перегрузочных установок и крутонаклонных конвейеров свидетельствуют исследования применения циклично-поточной технологии на Костомукшском ГОКе, проведенные ИГД УрО РАН совместно со специалистами комбината. С учетом перспектив развития горных работ и транспортной системы карьера на основе повариантного сравнения к реализации предложено два этапа размещения комплексов: на временно нерабочем участке борта в северном торце карьера с внутрикарьерной перегрузкой в железнодорожный транспорт (первый этап) и стационарное размещение на конечном контуре в южном торце с выходом конвейерной линии на верхние горизонты (второй этап). Ввод циклично-поточной технологии по второму этапу осуществляется через 11–12 лет после ввода в эксплуатацию первой (рудной) линии. На обоих этапах ввода намечается строительство параллельно работающих рудных и породных дробильно-конвейерных комплексов с помощью однотипного оборудования и при необходимости переключения грузопотоков на любой из них.

Технико-экономический анализ показал высокую эффективность использования комплексов циклично-поточной технологии с мобильными дробильно-перегрузочными установками и крутонаклонными конвейерными подъемниками на Костомукшском карьере. Внедрение комплекса циклично-поточной технологии на первом этапе сокращает объем текущей вскрыши на 5 млн м³. При размещении комплекса на постоянном южном борту (второй этап) объем вскрыши в конечных контурах карьера уменьшится на 17.6–18.0 млн м³ по сравнению с базовым вариантом применения автомобильно-железнодорожного транспорта. При циклично-поточной технологии с крутонаклонным подъемом объемы горно-капитальных работ снижаются в 3.0–4.5 раза, расход дизельного топлива — в 1.8–2.5 раза, пылевыделение и выбросы токсичных компонентов в атмосферу — на ~35–45%.

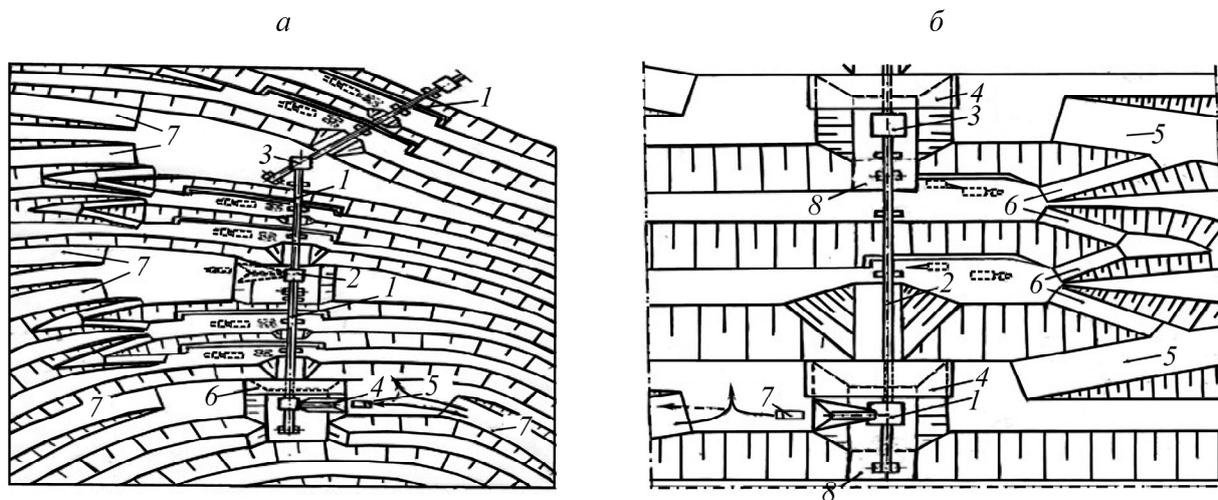
Металлоемкость крутонаклонных конвейеров по сравнению с обычными конструкциями конвейеров (с углом наклона до 16°) в идентичных горнотехнических условиях ниже на 12–18%. Подготовка трассы, горно-строительные работы, поставка оборудования, его монтаж и наладка, ввод в эксплуатацию дробильно-конвейерного комплекса с мобильными дробильно-перегрузочными установками и крутонаклонными конвейерами осуществляются за 2.0–2.5 года.

В качестве альтернативного рассмотрен вариант циклично-поточной технологии с помощью обычных ленточных конвейеров с углом наклона до 16° и размещением в полутраншее на западном борту карьера. Чтобы реализовать этот вариант, необходима выемка дополнительной вскрыши для размещения дробильно-конвейерного оборудования в объеме не менее 12 млн м³, а с учетом корректировки трассы автосъездов объем дополнительной вскрыши возрастает. Общая длина внутрикарьерной конвейерной линии по сравнению с крутонаклонными конвейерами увеличивается в 2.3–2.5 раза.

В связи с углублением карьеров использование циклично-поточной технологии с крутонаклонными конвейерными подъемниками становится более значимым и актуальным. В настоящее время рассматриваются различные технологические схемы, при этом с учетом увеличения глубины карьеров повышаются объемы горно-капитальных работ, которые влияют на технико-экономические показатели циклично-поточной технологии и адаптивность той или иной технологической схемы. Графическое моделирование карьеров с дробильно-конвейерным комплексом позволило установить, что технологическая схема дробильно-конвейерного комплекса с размещением ленточного конвейерного подъемника в выработках на конечном борту карьера соответствует схеме комплекса с размещением подъемника в наклонном стволе и квершлагах. Для этого от дробильно-перегрузочного пункта, находящегося на законсервированном участке рабочего борта карьера, до стационарного конвейерного подъемника, расположенного в выра-

ботках на конечном борту карьера, горную массу транспортируют ленточным конвейером, также размещенным в наклонной выработке на конечном борту карьера. Этот конвейер выполняет ту же функцию, что и конвейер в квершлагае. Его длина соответствует безопасному расстоянию подъемника от места ведения взрывных работ. При использовании таких передаточных конвейеров целики пород под площадками дробильно-перегрузочного пункта разрабатываются с помощью взрывных работ без повреждения стационарного конвейерного подъемника.

Сотрудниками ИГД УрО РАН в целях повышения степени адаптивности применения циклично-поточной технологии предложены эффективные технологические схемы, позволяющие уменьшить объемы горно-капитальных работ при вскрытии концентрационных горизонтов карьера. Показаны схемы размещения дробильно-перегрузочных установок на верхних и нижних горизонтах карьеров.



Дробильно-конвейерный комплекс с крутонаклонными конвейерами на верхних (а) и нижних (б) горизонтах карьеров: 1 — крутонаклонные конвейеры; 2 — узел перегрузки между конвейерами на месте прежней установки дробильно-перегрузочного пункта; 3 — узел перегрузки между конвейерами; 4 — дробильно-перегрузочный пункт в нише; 5 — автосамосвал; 6 — мост через нишу; 7 — капитальный съезд; 8 — мостовые конструкции под хвостовые части крутонаклонных конвейеров; 9 — заезды на монтажные площадки

ВЫВОДЫ

Применение в карьерах передвижных дробильно-перегрузочных пунктов и крутонаклонных конвейерных подъемников — одно из эффективных направлений совершенствования циклично-поточной технологии открытых горных работ. Возможность оперативного переноса дробильно-перегрузочных пунктов на нижележащие горизонты позволяет сократить количество и рационально использовать сборочный автомобильный транспорт, а крутонаклонные конвейеры обеспечивают снижение расстояния транспортирования горной массы из карьера. Размещение дробильно-перегрузочных пунктов производится в непосредственной близости от рабочей зоны карьера на временных породных целиках, срабатываемых по мере понижения горных работ, конвейерных подъемников: в открытых выработках на постоянном или поставленном на долговременную консервацию борту карьера.

Технологичность схемы вскрытия горизонтов размещения дробильно-конвейерных комплексов обеспечивается за счет максимального совмещения площадок дробильно-перегрузочных пунктов с временно нерабочими участками бортов карьера, а оснований конвейерных выработок, строительных площадок и заездов на них — с наклонными и горизонтальными предохранитель-

ными бермами. Эффективность циклично-поточной технологии горных работ с использованием мобильных дробильно-перегрузочных пунктов и крутонаклонного конвейерного подъема подтверждается расчетами, выполненными на примере Костомушского ГОКа, а также опытом эксплуатации на отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Санакулов К. С., Умаров Ф. Я., Шеметов П. А.** Снижение затрат в глубоких карьерах на основе применения крутонаклонного конвейера в составе комплекса ЦПТ // Горн. вестн. Узбекистана. — 2013. — № 1. — С. 8–12.
2. **Ракишев Б. Р.** Циклично-поточные технологии на карьерах // Вестн. КазНТУ. — 2012. — № 1. — С. 14–20.
3. **Решетняк С. П.** Современные тенденции в проектировании циклично-поточной технологии на карьерах // ГИАБ. — 2015. — № S56. — С. 126–133.
4. **Иоффе А. М., Селезнев А. В.** Обоснование рациональной области применения ЦПТ на карьерах // ГИАБ. — 2009. — № 3. — С. 342–353.
5. **Кармаев Г. Д., Глебов А. В.** Выбор горнотранспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. — 296 с.
6. **Marinin M. A. and Dolzhikov V. V.** Blasting preparation for selective mining of complex structured ore deposition, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sci., 2017, Vol. 87, No. 5.
7. **Трубецкой К. Н., Жариков И. Ф., Шендеров А. И.** Совершенствование конструкции карьерных комплексов ЦПТ // Горн. журн. — 2015. — № 1. — С. 21–24.
8. **Мельников Н. Н., Усынин В. И., Решетняк С. П.** Циклично-поточная технология с передвижными дробильно-перегрузочными комплексами для глубоких карьеров. — Апатиты, 1995. — 192 с.
9. **Дребенштед К., Риттер Р., Супрун В. И., Агафонов Ю. Г.** Мировой опыт эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением // Горн. журн. — 2015. — № 11. — С. 81–87.
10. **Пригунов А. С., Бро С. М., Шипунов С. А.** Состояние и перспективы применения циклично-поточной и поточной технологий // Маркшейдерский вестн. — 2014. — № 2. — С. 19–21.
11. **Яковлев В. Л., Кармаев Г. Д., Берсенев В. А., Глебов А. В., Семенкин А. В., Сумина И. Г.** Об эффективности применения циклично-поточной технологии горных работ на карьерах // ФТПРПИ. — 2016. — № 1. — С. 100–109.
12. **Галкин В. И., Шешко Е. Е.** Обоснование областей эффективного применения специальных видов конвейеров на карьерах // ГИАБ. — 2014. — ОВ 1: Тр. междунар. научн. симпозиума “Неделя горняка–2014”. — С. 400–410.
13. **Четверик М. С., Бабий Е. В., Икол А. А., Терещенко В. В.** Перспективы применения крутонаклонных конвейеров при циклично-поточной технологии горных работ на карьерах Кривбасса // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2010. — № 5 (263). — С. 94–98.

Поступила в редакцию 24/VII 2019

После доработки 11/IX 2019

Принята к публикации 23/IX 2019