ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5—2):296—308
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.271.3.06:658.527«75». 002.5 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_296

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРУКТУР МЕХАНИЗАЦИИ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А. В. Глебов

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация: В условиях совершенствования технологии разработки карьеров, постоянной модернизации горнотранспортного оборудования задача выбора рациональных структур механизации циклично-поточной технологии (ЦПТ) и её методическое обеспечение является актуальной задачей. Проведенные исследования позволили разработать основные положения и рекомендовать этапы выбора оборудования дробильно-конвейерного комплекса (ДКК), выемочно-погрузочного и сборочного транспортного звеньев. Взаимосвязь при выборе оборудования системы осуществляется путем учета эффективного времени работы и основного эксплуатационного показателя — часовой производительности звена, характеризующегося наибольшей жесткостью соединения элементов. Разработана принципиальная схема выбора, обеспечивающая оптимизацию параметров оборудования конвейерных линий, а также рациональное качественное и количественное соотношение параметров оборудования в смежных звеньях комплексов циклично-поточной технологии. По расчетным технико-экономическим показателям установлен характер изменения капитальных и эксплуатационных затрат на оборудование ДКК, выемочно-погрузочное и сборочного автотранспорта в зависимости от годовой производительности и высоты подъема горной массы конвейерным транспортом. Изложенные в статье методические принципы могут быть использованы для оптимизации параметров оборудования в дробильно-конвейерных комплексах, включающих как крутонаклонные, так и традиционные конвейеры, а также при обосновании рациональных структур механизации комплексов циклично-поточной технологии в конкретных горнотехнических условиях.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, глубокие карьеры, горнотехнические условия, технико-экономические показатели, выбор оборудования, производительность, дробильно-конвейерный комплекс, автосамосвал.

Благодарность: Статья подготовлена в рамках плана НИР Государственного задания №075-00581-19-00. Тема № 0405-2019-0005. Тема 1 (2019—2021 гг.). Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых.

Для цитирования: *Глебов А. В.* Методические принципы выбора основного оборудования структур механизации циклично-поточной технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—2. — С. 296—308. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_296.

Methodological principles of equipment selection for cyclical-and-continuous technology mechanization

A. V. Glebov

Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

© А. В. Глебов. 2021

Abstract: Given improvement of open pit mining technologies, as well as mining and haulage equipment, selection of rational structures for mechanization of the cyclical-and-continuous technology and its methodology is a critical task. The implemented research allowed development of the main provisions and recommendations on the choice steps of equipment for crushing, conveying, excavation, loading and scraping operations. The chosen equipment correlation is carried out with regard to the effective on-stream time and the main performance indicator—the hourly efficiency of an equipment unit characterized by the tightest connection of components. The developed action chart ensures optimization of equipment parameters in conveyor lines, and also rational qualitative and quantitative ratio of equipment parameters in contiguous equipment units in the cyclical-and-continuous technology. Using the estimated technical and economic indicators, the nature of change in the capital and operating costs of crushing, conveying, excavation, loading and scraping machines subject to annual productivity and height of conveyor hoisting transport is defined. The methodical principles described in the article can be used to optimize the parameters of equipment in crushing and conveying systems, including high-angle and conventional conveyors, as well as to justify the rational mechanization structures for the cyclical-and-continuous technologies in specific mining conditions.

Key words: cyclical-and-continuous technology, deep open pits, mining conditions, technical and economic indicators, equipment selection, productivity, crushing-and-conveying system, dump truck.

Acknowledgements: The study is carried out under R&D State Contract No. 075-00581-19-00. Topic No. 0405-2019-0005: Methods to Take into Account Transient Technological Processes in Mining Deep-Sated Mineral Deposits of Complex Structure (2019–2021).

For citation: Glebov A. V. Methodological principles of equipment selection for cyclical-and-continuous technology mechanization. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5—2):296—308. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_296.

Введение

Применение ЦПТ является одним из главных направлений технического перевооружения и интенсификации горных работ на карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения полезных ископаемых. Совершенствование и повышение эффективности этой технологии основывается на прогрессивных проектных, технических и технологических решениях.

Технологические решения должны предусматривать формирование карьерного пространства в течение всего срока разработки карьера, обеспечивая необходимое перемещение оборудования комплекса ЦПТ без длительного нарушения ритмичности его работы в режиме максимального использования технических возможностей. Это реально, если на стадии проектирования будут приняты принципиальные решения по разработке карьера до его конечной глубины, т. е. будут определены способ и срок строительства, режим горных работ, производственная мощность, продолжительность и этапы разработки, технологические схемы карьерного транспорта, момент ввода ЦПТ и др. Весьма важно предусмотреть в процессе текущего ведения горных работ подготовку необходимых площадок и выработок для размещения оборудования ДКК в случае его перемещения на новое место расположения, а также транспортных коммуникаций для его монтажа и последующего технического обслуживания.

Эти принципиальные решения наряду с геологическими и горнотехническими условиями являются базовыми данными при выборе горнотранспорт-

ного оборудования для отработки глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых.

Техническое перевооружение ЦПТ идет по пути создания нового оборудования, наиболее полно отвечающего разнообразию геологических и горнотехнических условий по мере увеличения глубины карьеров. Прежде всего, следует отметить разработку и создание перспективного оборудования ДКК — мощных передвижных дробильно-перегрузочных установок (ДПУ) и крутонаклонных ленточных конвейеров, хорошо адаптирующихся в изменяющемся карьерном пространстве. Это направление широко развито в странах дальнего зарубежья. Эффективность применения упомянутого оборудования подтверждена многими исследованиями [1—10]. Оборудование выемочно-погрузочного и сборочного транспортного звеньев ЦПТ также постоянно модернизируется. Появляются новые модели экскаваторов и автосамосвалов.

В условиях совершенствования технологии разработки карьеров, постоянной модернизации горнотранспортного оборудования задача выбора рациональных структур механизации ЦПТ и её методическое обеспечение является всегда актуальной.

Результаты исследований

Выбору оборудования ЦПТ посвящено весьма много исследований. В отечественной практике, основываясь на известных экономических критериях (капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты), в большинстве случаев оценивается эффективность использования того или иного оборудования в структурах механизации ЦПТ. Для обоснования наиболее эффективной структуры механизации ЦПТ оговаривается, какие факторы нужно учитывать и какими критериями руководствоваться при выборе основного оборудования. Однако практически не раскрывается, каким способом учитываются специфические особенности ЦПТ и некоторые эксплуатационные показатели оборудования при оптимизации структур механизации. В плане методического обеспечения выбора оборудования автомобильно-конвейерного транспорта следует отметить работу [11]. В ней приведена экономико-математическая модель выбора оптимальной совокупности параметров выемочно-погрузочного, автомобильного и дробильно-конвейерного оборудования и способы учета различных факторов.

В работе, посвященной комплексной механизации технологических процессов ЦПТ [12], приводятся основные требования к схемам и составу оборудования, расчет параметров некоторых видов оборудования. Без изложения научно обоснованной методики выбора оборудования рекомендуется системный подход при оценке его работы с учетом взаимосвязи параметров и смежных технологических процессов. При этом в качестве критерия рассматриваются затраты на производство конечного продукта.

Необходимым условием формирования рациональных комплексов ЦПТ является согласованность по производительности и времени работы оборудования смежных взаимодействующих звеньев системы. Соблюдение этого условия на практике осложнено. Трудности состоят в преобразовании дискретного грузопотока сборочного транспорта в непрерывный определенной величины грузопоток в любой момент планируемого времени работы ДКК. Это обусловлено различной надежностью транспортных средств, жесткостью связи оборудования и стохастическим характером взаимодействия смежных звеньев.

В звеньях выемочно-погрузочного оборудования и сборочного транспорта отсутствует жесткая связь между отдельными элементами и отказ какого-либо элемента в них не приводит к остановке комплекса ЦПТ. Он может работать с уменьшенной производительностью до замены или восстановления работоспособного состояния отказавшего оборудования. Отказ оборудования ДКК с последовательным сопряжением элементов оказывает существенное влияние на эксплуатацию всего комплекса ЦПТ, нарушая ритмичность его работы. Поэтому режим работы ДКК является определяющим для всего комплекса ЦПТ и указывает на необходимость учета надежности работы оборудования при определении продолжительности эффективной работы ДКК.

Режим работы ДКК характеризуется временем эффективной его эксплуатации и простоями по различным причинам. Анализ эксплуатации комплексов ЦПТ на железорудных карьерах показал, что существуют внутрисменные простои (как правило, случайные, кратковременные) и простои с продолжительностью перерыва в работе оборудования какого-либо звена, кратной времени смены (одной или нескольких). Внутрисменные простои комплексов ЦПТ определяют возможное снижение производительности как в отдельных технологических звеньях, так и всей системы ЦПТ (табл. 1) [9, 10].

Это указывает на обязательность учета при определении режима работы и выборе оборудования ДКК влияния смежных технологических звеньев. Вид внутрисменных простоев, учитываемых при расчете эффективного (чистого) времени работы ДКК, и их количественные значения приведены в табл. 2 [13].

Вследствие стохастического характера взаимодействия оборудования ЦПТ его простои в смежных звеньях полностью совместить не представляется возможным. Поэтому задача цикличных звеньев состоит в обеспечении часовой производительности ДКК, необходимой для выполнения запланированного годового объема перевозок в течение расчетного эффективного

Таблица 1

Снижение производительности оборудования в смежных технологических звеньях и в целом системы ЦПТ

The equipment capacity decrease in adjoining technological units and in the whole SFT system

Технологическое звено системы	Среднесменное снижение производительности* по месяцам, %											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Экскаваторное	9,5 2,1	13,8 2,7	12,4 2,3	13,3 1,8	13,3 2,0	13,0 1,9	15,1 2,9	13,6 1,9	14,0 3,0	13,9 2,7	14,3 2,3	16,5 2,1
Автомобильное	0,85 —	2,25 —	2,05 —	1,2 —	1,2 —	0,85 —	0,65 —	0,65 —	0,95 —	0,65 —	0,7 —	0,2 —
Дробильно-конвейерные комплексы	5,6 5,4	7,8 7,0	6,0 5,4	5,9 5,6	5,3 4,0	4,6 4,0	7,1 5,6	6,4 5,6	8,2 7,3	7,4 6,1	6,6 5,4	4,9 4,0
Дробильная фабрика	1,15 —	0,85 —	0,65 —	2,0 —	1,3 —	1,15 —	2,15 —	1,45 —	1,65 —	2,75 —	1,2 —	1,0 —
Система ЦПТ в целом	17,1 2,1	24,7 2,7	21,1 2,3	22,4 1,8	21,1 2,0	19,6 1,9	25,0 2,9	22,1 1,9	24,8 3,0	24,7 2,7	22,8 2,3	22,6 2,1

Таблица 2

Внутрисменные простои, учитываемые при определении времени работы дробильно-конвейерных комплексов (в % от годового фонда времени)

Downtimes in between shifts, considered when the crushing-conveyor system operation time is determined (expressed as a percentage from the annual time fund)

Виды простоев	Технологическое звено системы ЦПТ	Причины простоев	Длительность простоев, %
Эксплуатационно-технологические простои	Дробильно-конвейерный комплекс	Отсутствие руды Отсутствие места разгрузки и простой оборудования дробильной фабрики	0,7 – 2,8
	Экскаватор-ное звено	Отсутствие или разборка забоя Отсутствие и устройство подъездов, проходка съездов, зачистка забоя, горизонта и др.	2,5 – 4,3
Организационные простои	Дробильно-конвейерный комплекс	Пересменка Отсутствие автосамосвалов	1,6 – 3,7
	Экскаваторное звено	Пересменка Переключение или переезд экскаватора Отсутствие автосамосвалов Отсутствие экипажа	3,4 – 6,1
Аварийные	Дробильно-конвейерный комплекс	Неисправность механического и электрического оборудования конвейеров Срабатывание аппаратуры контроля Подпрессовка барабанов, сход и пробуксовка лент Забивка течек Неисправность дробилки, питателей	В зависимости от числа элементов комплекса (учитывается $K_г$ комплекса)
	Экскаваторное звено	Неисправность механизмов подъема, напора, поворота экскаватора Неисправность стрелы, ковша, рукояти экскаватора Неисправность преобразовательного агрегата Неисправность гидро- и пневмосистем	3,4 – 6,0

времени работы. Из этого следует, что необходимой часовой производительностью определяются не только параметры оборудования ДКК, но и число машин в цикличных звеньях, обслуживающих его. В этой связи представляется возможным выбор основного оборудования ЦПТ разделить на два блока: сначала определяются рациональные параметры оборудования поточного ДКК, а затем цикличного комплекса (экскаваторно-автомобильного (ЭАК)). При этом главные сопряженные параметры оборудования ЭАК — емкость ковша экскаватора и грузоподъемность автосамосвала, выбираются по годовому объему перевозок. Рациональное сочетание этих параметров определяется массовым модулем, представляющим отношение грузоподъемности автосамосвала к массе груза в ковше экскаватора [14]. Режимы работы этих звеньев определяются в соответствии с условиями разработки карьера.

При проектировании комплексов ЦПТ возможны два подхода:

1. Предварительно задавшись параметрами серийно изготавливаемого конвейерного оборудования (поточного звена), определить годовую транспортирующую способность ДКК:

$$Q_т = Q_ч \cdot Т_р,$$

где $Q_ч$ — паспортная часовая производительность конвейерного оборудования, т/ч; $Т_р$ — чистое время работы, ч.

Затем, исходя из часовой производительности ДКК, выбрать необходимое оборудование цикличных звеньев и разработать технологию ведения горных работ, обеспечивающую добычу и транспортирование планируемого годового объема горной массы.

2. Исходя из горнотехнических возможностей и необходимых объемов выдачи горной массы из карьера, определить целесообразную годовую производительность комплекса ЦПТ. По заданному объему переработки горной массы рассчитать необходимую часовую производительность ДКК, т/ч:

$$Q_н = Q_г / Т_р,$$

где $Q_г$ — годовая производительность комплекса ЦПТ, т.

По значению $Q_н$ следует выбирать параметры конвейеров, дробилок и оборудования цикличных звеньев комплекса ЦПТ.

Второй подход безусловно предпочтителен при ограниченной вариации типоразмеров (параметров) выпускаемого оборудования.

Кроме того, даже при значительном числе типоразмеров конвейеров не всегда возможно выбрать конвейеры с параметрами, удовлетворяющими специфическим условиям работы комплексов ЦПТ. Как правило, для них требуется оборудование индивидуального изготовления, что подтверждается практикой проектирования ЦПТ на карьерах СНГ и дальнего зарубежья.

Продолжительность эффективной работы (чистое время работы) ДКК в системах ЦПТ при непрерывной рабочей неделе определяется по выражению:

$$Т_г = (Т_{то} - Т_{кл} - Т_{тех} - Т_{орг} - Т_{кэ}) \cdot К_{кг}, ч,$$

где $Т_г$ — годовой фонд времени, ч; $Т_{то}$ — время на проведение технического обслуживания и ремонтов оборудования ДКК, ч; $Т_{кл}$ — время простоев оборудования по климатическим причинам, ч; $Т_{тех}$ и $Т_{орг}$ — продолжительность внутрисменных несовместимых простоев системы по технологическим и организационным причинам, ч; $Т_{кэ}$ — продолжительность несовместных внутрисменных аварийных простоев экскаваторного звена, ч; $К_{кг}$ — коэффициент готовности оборудования ДКК.

При оценке эффективности применения того или иного оборудования в структурах механизации ЦПТ существенное значение имеет выбор сравниваемых показателей или целевой функции.

Выбор оборудования комплексов ЦПТ относится к задачам сравнения вариантов с незначительно отличающимися, а часто с одинаковыми производственной мощностью и продолжительностью строительства. В этом случае можно не использовать известные критерии (чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности и срок окупаемости), а ограничиться приведенными капитальными и эксплуатационными затратами за период оптимизации (7—10 лет), который будет близок к сроку службы оборудования ДКК, определенному по нормам амортизации. За указанный срок обновляется и парк сборочного автотранспорта.

Если капитальные и эксплуатационные затраты в сравниваемых вари-

антах окажутся незначительно отличающимися, тогда следует ввести дополнительные критерии: металлоемкость оборудования, требуемую энергонасыщенность, производительность труда на одного работающего и экологические показатели (загрязнение атмосферы пылью, выхлопными отработавшими газами и т. д.). При этом целесообразно использовать удельные показатели (на 1 т перерабатываемой горной массы), и следует учитывать возможные изменения в составе оборудования за период оптимизации.

Основные принципы выбора оборудования ДКК сводятся к следующему:

1. Подготовка исходных данных, позволяющих определить параметры конвейерного оборудования, выбрать тип и параметры оборудования смежных звеньев, рассчитать капитальные и эксплуатационные затраты на переработку (перемещение) 1 т горной массы и другие показатели в соответствии с выбранными критериями эффективности ЦПТ.

2. Выбор оборудования конвейерных линий осуществляется с учетом взаимного влияния смежных технологических звеньев систем ЦПТ. При этом достаточно учитывать влияние экскаваторно-автомобильного и дробильно-конвейерного комплексов на эффективность их взаимного функционирования и системы в целом. Буровзрывные работы непосредственно не рассматриваются, так как их влияние отражается косвенно через качество подготовки взорванной горной массы на работе выемочно-погрузочного оборудования и учитывается через изменение производительности и режимов работы экскаваторов. Влияние смежных технологических звеньев оценивается по величине среднесменной потери производительности, исходя из простоев оборудования по аварийным, технологическим и организационным причинам.

3. Режим эксплуатации дробильно-конвейерных комплексов следует считать определяющим при расчете продолжительности работы оборудования в системах ЦПТ. Работа смежных звеньев должна обеспечивать эксплуатацию дробильно-конвейерных комплексов в режиме максимального использования их технических возможностей путем создания оптимального резерва оборудования для выполнения соответствующих технологических процессов. Необходимая часовая производительность системы ЦПТ определяется, исходя из заданного годового объема перевозок горной массы и наиболее вероятного времени эффективной работы дробильно-конвейерного комплекса.

4. По необходимой часовой производительности с учетом неравномерности загрузки конвейеров в дробильно-перегрузочных пунктах производится выбор оборудования комплекса с параметрами, обеспечивающими безусловное выполнение годового объема перевозок.

5. В связи с различной сложностью изготовления и долговечностью элементов конвейерных установок (приводная станция, ролики, опорные конструкции линейного става, ленты) при расчете капитальных затрат их стоимость учитывается раздельно. Эксплуатационные расходы определяются с учетом сроков службы наиболее быстроизнашивающихся элементов, так как их долговечность существенно ниже срока амортизации конвейера в целом.

Выбор выемочно-погрузочного оборудования ЭАК производится в следующем порядке.

1. В соответствии с исходными данными по годовому объему добычи полезного ископаемого или вскрышных пород с использованием ЦПТ выбирается тип экскаватора на основании имеющихся аналогов с учетом производственной мощности карьера в целом.

При этом следует иметь в виду, что тесной взаимосвязи между производственной мощностью карьера и главным параметром экскаватора, емкостью ковша, практически не существует, но не исключается тенденция использовать экскаваторы большей мощности с повышением производительности карьеров.

2. По выбранному типу экскаватора рассчитывается массовый модуль ЭАК, позволяющий в рациональном интервале его значений определиться с грузоподъемностью автосамосвала.

3. Определяется часовая производительность экскаватора и, исходя из необходимой часовой производительности ДКК, число работающих в смену, а также инвентарный парк экскаваторов.

4. Рассчитываются капитальные и эксплуатационные затраты и другие показатели, характеризующие эффективность работы экскаваторного парка в составе ЭАК.

Лучшей моделью является экскаватор рационального типа ЭАК, выбранного по результатам сравнения оценочных показателей нескольких комплексов с параметрами оборудования, соответствующими рекомендуемому интервалу значений массового модуля.

Выбор автомобильного технологического звена практически сводится к формированию парка автосамосвалов, обеспечивающего необходимый часовой и годовой грузопотоки горной массы, перерабатываемой ДКК. В принципе эта задача решается путем отыскания его рациональной возрастной и модельной структур, обеспечивающих выполнение производственной программы комплекса ЦПТ с высокими экономическими показателями. Из этого следует, что структура сборочного автопарка должна отвечать требованиям [15]:

– обязательное выполнение необходимого объема перевозок горной массы или транспортной работы;

– удельная стоимость транспортирования горной массы или транспортной работы должна обеспечивать рентабельность работы автотранспорта, т.е. ее величина не должна превышать допустимую, при которой гарантируется безубыточность автомобильных перевозок.

Задача формирования парка автосамосвалов решается в несколько этапов [15]:

1. Для комплекса ЦПТ в известных горнотехнических условиях карьера и с заданным годовым объемом перевозок горной массы выбирается грузоподъемность, модель и по необходимой часовой производительности ДКК определяется необходимое количество автосамосвалов.

Грузоподъемность автосамосвалов выбирается по рациональному соотношению вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала, определяющему степень производительной работы ЭАК. Лучшая модель среди автосамосвалов одного класса грузоподъемности различных фирм-производителей для конкретных условий карьера выбирается на основе оценки уровня потребительских качеств и конкурентоспособности [15].

2. Выбор количества возрастных групп по каждой модели автосамосвалов в парке.

Число возрастных групп в парке технологического автотранспорта ограничивается рекомендуемым заводом-изготовителем сроком службы автосамосвалов, определяемым отношением нормативного 90 % ресурса к среднегодовой наработке. При этом под ресурсом понимается наработка автосамосвала от момента ввода в эксплуатацию до его списания.

Структура парка технологического автотранспорта имеет сложную динамику своих параметров, меняющихся

во времени под влиянием различных факторов. В любой момент времени в автопарке находятся в эксплуатации автосамосвалы разной грузоподъемности, различных моделей и возрастных групп, поэтому число возрастных групп определяется аналогично для всех моделей автосамосвалов, имеющихся в парке и эксплуатирующихся в различных условиях. Число возрастных групп не является постоянным. Оно в определенной степени зависит от модели автосамосвалов, условий их эксплуатации и может изменяться вследствие совершенствования конструкции машин и повышения надежности их работы.

3. Установление эмпирических зависимостей основных технико-экономических показателей эксплуатации автосамосвалов от их возраста.

В процессе обработки статистической информации строятся графики изменения годовой удельной себестоимости 1 т горной массы или стоимости 1 т·км транспортной работы, а также производительности за определенный период времени. На основании этих графиков устанавливается эмпирическая зависимость между удельной себестоимостью 1 т горной массы или стоимостью 1 т·км транспортной работы и годами эксплуатации автосамосвала, описываемая функцией $C_{уд} = f(t_{срв})$. Аналогично устанавливается эмпирическая зависимость между производительностью и годами эксплуатации автосамосвалов: $Q = f(t_{срв})$.

4. Определение средневзвешенного возраста автосамосвалов в парке, удовлетворяющего заданным критериям.

Средневзвешенный возраст автосамосвалов $t_{срв}$ в парке определяется путем решения уравнений аппроксимирующих функций $C_{уд}$ и Q относительно $t_{срв}$. Естественно, что для каждого горнодобывающего предприятия зависимости, следовательно, и аппроксимирующие функции будут иметь различный вид. Соответственно, будут различными уравнения допустимого $t_{срв}$ по выбранным критериям.

5. Формирование парка технологического автотранспорта.

Формирование парка автосамосвалов должно осуществляться по принципу поддержания средневзвешенного возраста автосамосвалов на уровне, обеспечивающем обязательное выполнение годового объема перевозок горной массы и рентабельность работы автотранспортного предприятия, т. е. когда удельная стоимость транспортирования горной массы не превышает допустимую, при которой гарантируется прибыльность автомобильных перевозок.

Парк может быть сформирован из новых автосамосвалов и бывших в употреблении. Поэтому предложенные критерии позволяют регулировать размер разовых капитальных вложений, а также распределять их равномерно во времени. Кроме того, план формирования парка автотранспорта целесообразно прогнозировать на период не более 5 — 7 лет.

Исследованиями с использованием экономико-математической модели, разработанной с учетом вышеизложенных положений по выбору оборудования ЦПТ, установлены общие тенденции изменения оценочных показателей от основных влияющих факторов (годового объема перевозок и высоты конвейерного подъема горной массы).

Анализ расчетных затрат на комплексы ЦПТ показывает, что в стоимости оборудования превалирует доля затрат на сборочное технологическое автомобильное звено. При рациональном плече доставки горной массы из забоев до ДПП она составляет 40 — 60 % в зависимости от годового

объема перевозок и высоты подъема транспортируемого материала конвейерным подъемником. В эксплуатационных затратах доля сборочного автотранспорта достигает 55—75 % общих расходов на основное оборудование ЦПТ. Наименее затратным является звено выемочно-погрузочного оборудования, доля которого в капитальных затратах находится в интервале 15—24 %, а в эксплуатационных затратах — 9—15 %. Доля капитальных затрат на оборудование ДКК составляет 21—42 %, эксплуатационных затрат — 13—35 % [9]. С повышением объема перевозок доля затрат на оборудование сменных звеньев ЦПТ изменяется неоднозначно. С увеличением годовой производительности комплексов ЦПТ с 5 до 30 млн т доля капитальных и эксплуатационных затрат на оборудование сборочного автотранспорта возрастает соответственно в 1,2—1,3 и 1,15—1,2 раза. В то же время доля капитальных затрат на оборудование ДКК и выемочно-погрузочное снижается соответственно в 1,1—1,3 и 1,2—1,4 раза, а эксплуатационных затрат — в 1,3—1,5 раза.

Сборочный автотранспорт при минимальной доле массы автосамосвалов требует большей энергонасыщенности, определяемой мощностью двигателей. При подъеме горной массы конвейерным подъемником на высоту 100 м установленная мощность двигателей автосамосвалов составляет около 65 % общей необходимой мощности основного оборудования комплексов ЦПТ. С ростом высоты подъема горной массы происходит перераспределение необходимой энергонасыщенности в сторону увеличения ее доли в ДКК и снижения в звене сборочного автотранспорта до 50—55 %. При этом процесс экскавации является наименее энергоемким. Доля установленной мощности оборудования выемочно-погрузочного звена составляет 10—15 % [16].

Такое соотношение затрат на оборудование комплексов указывает на трудоемкость процессов ЦПТ и необходимость совершенствования средств сборочного автотранспорта в направлении наиболее полного соответствия необходимому уровню потребительских качеств. Уровень потребительских качеств является обобщенным показателем частных уровней качества автосамосвала, характеризующих техническое совершенство, сервисное обслуживание в процессе эксплуатации, максимальную пригодность машины к работе в различных горнотехнических условиях карьеров и производственную эффективность при транспортировании горной массы.

Выводы

Изложенные выше материалы позволяют сформулировать следующие результаты исследований:

– обоснована актуальность вопроса выбора основного оборудования структур механизации ЦПТ;

– установлено, что режим работы ДКК является определяющим при выборе оборудования всего комплекса ЦПТ. Эффективное время его работы рассчитывается с учетом влияния смежных звеньев, исходя из плановых и внутрисменных простоев оборудования ДКК и ЭАК по технологическим, организационным и аварийным причинам;

– разработаны основные принципы и рекомендованы этапы выбора оборудования ДКК, выемочно-погрузочного и сборочного транспортного звеньев. Взаимосвязь при выборе оборудования системы осуществляется путем учета эффективного времени работы и основного эксплуатационного показателя — часовой производительности звена,

характеризующегося наибольшей жесткостью соединения элементов;

– разработана принципиальная схема выбора, обеспечивающая оптимизацию параметров оборудования конвейерных линий, а также рациональное качественное и количественное соотношение параметров оборудования в смежных звеньях комплексов ЦПТ;

– по расчетным технико-экономическим показателям установлен характер изменения капитальных и эксплуатационных затрат на оборудование ДКК, выемочно-погрузочное и сборочного автотранспорта в зависимости от годовой производительности и высоты подъема горной массы конвейерным транспортом.

Самые большие затраты приходятся на сборочный автотранспорт. Их доля в общих капитальных и эксплуатационных затратах достигает соответственно 40 — 60 % и 35 — 75 %. Наименее затратным является звено выемочно-погрузочного оборудования. Его доля затрат составляет 15 — 24 % (капитальные) и 9 — 15 % (эксплуатационные).

Изложенные методические принципы могут быть использованы для оптимизации параметров оборудования в ДКК, включающих как крутонаклонные, так и традиционные конвейеры, а также при обосновании рациональных структур механизации комплексов ЦПТ в конкретных горно-технических условиях.

Благодарность

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры «Металлургия и горное дело» Актюбинского регионального государственного университета им. К. Жубанова (Актобе, Казахстан), за содействие в исследованиях в рамках проекта №AP05130117 «Научно-техническое обоснование применения на рудных карьерах Казахстана инновационной технологии с использованием крутонаклонного конвейерного транспорта».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев В. Л.*, *Берсенёв В. А.*, *Глебов А. В.*, *Кулнияз С. С.*, *Маринин М. А.* Выбор схем циклично-поточной технологии на глубоких карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 5. — С. 98 — 104.

2. *Yakovlev V. L.*, *Glebov A. V.*, *Kulniyaz S. S.*, *Karmaev G. D.* Comparative analysis of the application of steep conveyor lines on quarries // Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2020. Vol. 3. No 441. Pp. 88 — 96. DOI: 10.32014/2020.2518 — 170X.58.

3. *Yakovlev V. L.*, *Glebov A. V.*, *Bersenyov V. A.*, *Kulniyaz S. S.*, *Ligotskiy D. N.* Influence of an installation angle of the conveyor lift on the volumes of mining and preparing work at quarries at the cyclic-flow technology of ore mining // Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. 2020. Vol. 4. No 442. Pp. 127 — 137. DOI: 10.32014/2020.2518 — 170X.93.

4. *Drebenshted K. R.*, Ritter, V. I. Suprun, *Yu G.* Agafonov Global Experience of Operating Cyclical-and-Continuous Method with In-Pit Crushing // Gornyj zhurnal. 2015. No. 11. Pp. 81.

5. *Burt C.* Equipment selection for surface mining: a review // Interfaces. 2014. No. 44 (2). Pp. 143 — 162.

6. *Burt C. N.*, *Caccetta L.* Erratum to: Equipment Selection for Mining: With Case Studies. In: Equipment Selection for Mining: With Case Studies. Studies in Systems, Decision and Control. 2018. Vol. 150. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978 — 3-319 — 76255 — 5_11.

7. *Isaac D.*, *Peter K.*, *Kizil M. S.* Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time // Coal Operators› Conference. Wolloongong: The University of Wolloongong. 2016. Pp. 463—476.

8. *Яковлев В. Л.*, *Кармаев Г. Д.*, *Берсенёв В. А.*, *Сумина И. Г.*, *Яковлев В. А.* Исследование влияния переходных процессов на эксплуатационные показатели транспортных систем глубоких карьеров // Проблемы недропользования. — 2016. — № 4 (11). — С. 51 — 60. DOI: 10.18454/2313—1586.2016.04.051.

9. *Яковлев В. Л.*, *Кармаев Г. Д.*, *Берсенев В. А.*, *Сумина И. Г.* О моменте ввода циклично-поточной технологии на карьерах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2015. – № 3. — С. 4 — 11.

10. *Яковлев В. Л.*, *Кармаев Г. Д.*, *Берсенев В. А.*, *Семёнкин А. В.*, *Сумина И. Г.* К вопросу эффективности применения циклично-поточной технологии горных работ на карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 1. — С. 100 — 109.

11. *Васильев М. В.*, *Яковлев В. Л.* Научные основы проектирования карьерного транспорта. — М.: Наука, 1972. — 202 с.

12. *Симкин Б. А.*, *Дихтяр А. А.*, *Зиборов А. П.* Комплексная механизация процессов циклично-поточной технологии на карьерах. — М.: Недра, 1985. — 195 с.

13. *Яковлев В. Л.*, *Кармаев Г. Д.*, *Тюлькин А. П.* Методические принципы оптимизации параметров конвейерного оборудования в системах ЦПТ // Карьерный транспорт: проблемы и решения / ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2001. — С.142—152.

14. *Кулешов А. А.* Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. — М.: Недра, 1980. — 317 с.

15. *Глебов А. В.* Выбор сборочного автомобильного транспорта систем циклично-поточной технологии / Mining of Mineral Deposits. 2017. Vol. 11. Issue 4. Pp. 11—18. DOI: 10.15407/mining11.04.011.

16. *Кармаев Г. Д.*, *Тюлькин А. П.* Особенности выбора оборудования комплексов циклично-поточной технологии на глубоких карьерах // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: Сборник научных трудов ИГД УрО РАН. — Екатеринбург, 2004. — Вып. 2 (92). — С. 437—444. ГИАБ

REFERENCES

1. Yakovlev V. L., Bersenev V. A., Glebov A. V., Kulniyaz S. S., Marinin M. A. Selecting cyclical-and-continuous process flow diagrams for deep open pit mines. *Journal of Mining Science*. 2019. T. 55. no. 5. pp. 783—788. [In Russ]

2. Yakovlev V. L., Glebov A. V., Kulniyaz S. S., Karmaev G. D. Comparative analysis of the application of steep conveyor lines on quarries. Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2020. Vol. 3. no. 441. Pp. 88—96. DOI: 10.32014/2020.2518—170X.58.

3. Yakovlev V. L., Glebov A. V., Bersenyov V. A., Kulniyaz S. S., Ligotskiy D. N. Influence of an installation angle of the conveyor lift on the volumes of mining and preparing work at quarries at the cyclic-flow technology of ore mining. Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. 2020. Vol. 4. no. 442. pp. 127—137. DOI: 10.32014/2020.2518—170X.93.

4. Drebenshted K. R., Ritter, V. I. Suprun, Yu G. Agafonov Global Experience of Operating Cyclical-and-Continuous Method with In-Pit Crushing. *Gornyj zhurnal*. 2015. no. 11. pp. 81. [In Russ]

5. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review. Interfaces. 2014. no. 44 (2). pp. 143—162.

6. Burt C. N., Caccetta L. Erratum to: Equipment Selection for Mining: With Case Studies. In: Equipment Selection for Mining: With Case Studies. Studies in Systems, Decision

and Control. 2018. Vol. 150. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978—3-319—76255—5_11. [In Russ]

7. Isaac D., Peter K., Kizil M. S. Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time. Coal Operators› Conference. Wolloongong: The University of Wolloongong. 2016. pp. 463—476.

8. Yakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Sumina I. G., Yakovlev V. A. Investigation the influence of transient processes on the performance of transport systems in deep open pits. *Problems of subsoil use*. 2016. Vol. 4 (11). pp. 51—60. DOI: 10.18454/2313—1586.2016.04.051. [In Russ]

9. Yakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Sumina I. G. On the introduction of the cyclicflow technology in open pits. News of the Higher Institutions. *Mining Journal*. 2015. Vol. 3. P. 4 11. [In Russ]

10. Yakovlev 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. *Journal of Mining Science*. 2016. T. 52. no. 1. C. 102—109. [In Russ]

11. Vasiliev M. V., Yakovlev V. L. *Nauchnye osnovy proektirovaniya kar'ernogo transporta* [Scientific grounds of open pit transport designing]. Moscow: Nauka, 1972. 202 p. [In Russ]

12. Simkin B. A., Dikhtyar A. A., Ziborov A. P. and etc. *Kompleksnaya mekhanizaciya processov ciklichno-potochnoj tekhnologii na kar'erah* [Integrated mechanization of cyclic-flow technology processes in the open pits]. Edited by B. A. Simkin. Moscow: Nedra, 1985. 195 p. [In Russ]

13. Yakovlev V. L., Karmaev G. D., Tjulkin A. P. *Metodicheskie principy optimizacii parametrov konvejernogo oborudovaniya v sistemah CPT* [Methodological principles of optimization conveyor equipment parameters in CFT systems Open pit transport: problems and solutions]. IM UR RAS. Ekaterinburg, 2001. pp. 142—152. [In Russ]

14. Kuleshov A. A. *Moshchnye ekskavatorno-avtomobil'nye kompleksy kar'erov* [High-capacity excavator-truck systems of open pits]. Moscow: Nedra, 1980. 317 p. [In Russ]

15. Glebov A. V. Selection and assembly of motor transport systems of cyclic-flow technology. *Mining of Mineral Deposits*. 2017. Vol. 11. Issue 4. Pp. 11—18. DOI: 10.15407/mining11.04.011. [In Russ]

16. Karmaev G. D., Tjulkin A. P. *Osobennosti vybora oborudovaniya kompleksov ciklichno-potochnoj tekhnologii na glubokih kar'erah* [The features of selection equipment of cyclic-flow technology systems in deep open pits]. Geo-technical problems of integrated mineral resources mining: coll. scient. works. IM UR RAS. Ekaterinburg, 2004. pp. 437—444. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Глебов Андрей Валерьевич — канд. техн. наук, заместитель директора по научным вопросам, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия, e-mail: Glebov@igduran.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Glebov A. V., Cand. Sci. (Eng.), Deputy director on scientific questions, Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences (IM UB RAS), Ekaterinburg, Russia, e-mail: Glebov@igduran.ru.

Получена редакцией 16.12.2020; получена после рецензии 15.03.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 16.12.2020; received after the review 15.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.