Оригинальная статья / Original Paper

DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-78-85

Концепция методологии взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера

А.В. Глебов ✉
Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация
✉ glebov@igduran.ru

Резюме: Транспортирование горной массы при разработке глубокозалегающих рудных месторождений открытым способом остается одним из основных и наиболее трудоемких процессов. Это требует научно обоснованного подхода к формированию транспортных систем и параметров горнотранспортного оборудования, соответствующих конкретным горнотехническим условиям разработки месторождений. При разработке месторождений полезных ископаемых происходит поэтапное развитие транспортной и горнотехнической систем карьера как совокупности горных выработок, изменяющихся во времени и пространстве. Перевод горнотехнической системы предприятия от нестабильного состояния к состоянию стабильного функционирования горнотехнической системы с новой организационной структурой, технологически и технически оснащенной, соответствующей изменившимся внешним и внутренним факторам, является адаптационным процессом. Исследование процессов взаимной адаптации системы автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся с ростом глубины горнотехнической системы карьера с целью управления взаимным соответствием этих систем является актуальной научной проблемой, решение которой направлено на развитие теории формирования транспортных систем, позволяющих повысить эффективность применения автомобильно-конвейерного транспорта при разработке глубокозалегающих рудных месторождений полезных ископаемых. Эффективность разработки глубокозалегающих рудных месторождений полезных ископаемых с использованием циклично-поточной технологии обеспечивается управлением процессами взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы путем принятия заранее спланированных технических, технологических и организационных решений в качестве реакции на изменение внутренних и внешних условий функционирования с учетом исследования переходных процессов и закономерностей их развития.

Ключевые слова: глубокие карьеры, переходные процессы, взаимная адаптация, циклично-поточная технология, внутренние и внешние факторы, горнотехническая система, автомобильно-конвейерный транспорт

Благодарности: Статья подготовлена в рамках государственного задания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

Для цитирования: Глебов А.В. Концепция методологии взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера. *Горная промышленность*. 2022;(1S):78–85. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-78-85.

A Methodology Concept for Mutual Adaptation of the Truck-and-Conveyor Transport and the Evolving Open Pit Mining Systems

A.V. Glebov✉
Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation
✉ glebov@igduran.ru

Abstract: Haulage of the rock mass in open pit mining of deep ore deposits remains one of the main and most time-consuming processes. This requires a scientifically justified approach to designing the transport systems and the mining equipment characteristics appropriate to the specific mining conditions of the deposit. Mining of mineral deposits is characterized with a gradual development of the transport and the open-pit mining systems, being a set of mining workings that vary in time and space Transition of the mining system from an unstable state to a steady operation with a new organizational structure, properly equipped both technologically and technically, that corresponds to the changing external and internal factors, is an adaptation process. Studies of the mutual adaptation processes of the truck-and-conveyor transport system and the mining system which is evolving with the increasing depth of the open pit, with the purpose of managing the mutual consistency of these systems is an important research issue. Its solution will help to develop the theory of transport systems that can improve the efficiency of the truck-and-conveyor application in mining of deep ore deposits. The efficiency of mining deep ore deposits using the in-pit crushing and conveying technology is ensured by the of managing the mutual adaptation of the truck-and-conveyor and the evolving mining systems by making pre-planned technical, technological and organizational decisions in response to changing internal and external operating conditions with due account of the transient processes and their development patterns.

Keywords: deep quarry, transients, mutual adaptation, in-pit crushing and conveying technology, internal and external factors, mining system, truck-and-conveyor transport

Acknowledgments: The paper was prepared within the framework of the State Contract No.075-00412-22 PR. Topic 1 (2022-2024). Methodological Basis for a Strategy of Integrated Development of Solid Mineral Reserves along with the Evolution of Mining Systems (FUWE-2022-0005), reg. No.1021062010531-8-1.5.1.

For citation: Glebov A.V. A Methodology Concept for Mutual Adaptation of the Truck-and-Conveyor Transport and the Evolving Open Pit Mining Systems. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):78–85. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-78-85.

А.В. Глебов,
кандидат технических наук,
заместитель директора
Института горного дела
Уральского отделения РАН

Введение

Мир в двадцатом веке накопил огромные эмпирические сведения о разработке более пяти тысяч достаточно крупных месторождений полезных ископаемых и решил множество инженерных задач горного дела, но горная наука по существу своему все еще опирается на мнемонические, полуэмпирические правила. Совершенно естественно, что переосмысление понятий, формулирование постулатов, общих принципов, концепций и закономерностей должно стать составной частью формирования теоретических основ всех направлений горной науки [1]. В том числе требуют своего развития: расчетные методы определения параметров горнотранспортного оборудования и принципы формирования на их основе рациональных комплексов для различных горнотехнических условий; теории формирования рабочей зоны и конструирования транспортных систем при открытой системе разработки месторождений; теория сравнения и выбора горнотранспортного оборудования; методика обоснования технологических схем глубокого ввода и параметров технологических схем комбинированного транспорта с применением крутонаклонных конвейерных подъемников.

Освоение глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых продолжается десятки лет в условиях непрерывного роста глубины рабочей зоны карьера, нарастания геологической, горнотехнической и технологической информации, требующих безусловного выделения этапов формирования карьерного пространства, изменения параметров систем разработки, формирования транспортной системы карьера путем применения новых технологических решений и видов транспорта, то есть практически пересмотра большинства принятых проектных решений [2, с. 20].

Предложенный В.Л. Яковлевым методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов [2], позволяет при проектировании освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ создать стратегию управления этими процессами в течение всего срока отработки месторождения.

При современном уровне механизации горных работ, оснащенности сложной и дорогостоящей техникой, больших скоростях перемещения всего фронта работ, трудоемких процессах переработки минерального сырья и в связи с общим ухудшением естественных условий его добычи и переработки изменчивость геологической среды оказывает решающее влияние на надежность и эффективность горной техники, безопасность ведения горных работ [2, с. 23].

Развитие общей теории формирования и динамики транспортных систем при открытой разработке месторождений концептуально базируется на математической теории систем как сложных, многофакторных, многоплановых и многофункциональных производственных структур. Одним из основных условий эффективности работы горнотранспортного оборудования является обеспечение его соответствия горнотехническим условиям эксплуатации [1].

Исследованиями [3] обосновано, что переходный процесс применительно к горнодобывающему предприятию – это последовательные изменения во времени состояний его производственной системы и отдельных технологических процессов, обусловленные необходимостью адаптации к изменяющимся горно-геологическим, горнотехническим, социально-экономическим условиям и (или) потребностью в развитии.

Суть предлагаемого автором методологического подхода состоит в том, что не только при проектировании поэтапного формирования горнотехнической системы и взаимосвязанной с ней транспортной системы карьера, в том числе с применением автомобильно-конвейерного транспорта (АКТ), нужно научное сопровождение, так как количественные параметры геологических, горнотехнических, технологических факторов изменяются по мере развития горных работ. Это требует постоянного научного сопровождения (методики, модели, алгоритмы и т.д.), реализация которого является задачей субъектов организационной структуры действующих горнодобывающих предприятий, объединений, холдингов, и они в свою очередь тоже должны иметь определенное научное сопровождение, так как конкретные условия того периода, кото-

рый требует адаптации, значительно удален по времени от периода принятия проектных решений.

Технологические решения должны предусматривать формирование карьерного пространства в течение всего срока разработки карьера, обеспечивая необходимое перемещение оборудования АКТ без длительного нарушения ритмичности его работы в режиме максимального использования технических возможностей. Это возможно, 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 дробильно-конвейерного комплекса (ДКК) в случае его перемещения на новое место расположения, а также транспортных коммуникаций для его монтажа и последующего технического обслуживания [4].

Поэтому эффективность разработки глубокозалегающих рудных месторождений полезных ископаемых с использованием циклично-поточной технологии можно обеспечить, опираясь на методологию взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся с ростом глубины горнотехнической системы (ГТС) карьера, концепция которой приведена в данной статье.

Методология исследования

Для формирования концепции определимся с используемыми в ней понятиями.

Концепция – определенный способ понимания какого-либо предмета (явления, процесса, решения проблемы, задачи); понимание решения проблемы эффективной и своевременной взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера.

Методология – логическая организация деятельности, которая содержит концепцию, новые теоретические положения, принципы, методы, методики и средства деятельности.

Критерий – признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мера оценки.

Параметр – величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, системы, объекта, машины.

Карьер – горное предприятие, представляющее собой совокупность разнообразных горных выработок и осуществляющее разработку месторождения полезного ископаемого открытым способом [5].

Горнотехническая система – это совокупность горных конструкций и технологических подсистем во взаимодействии с вмещающими их участками недр [5].

Автомобильно-конвейерный транспорт – комбинированный вид транспорта, состоящий из геотехнических комплексов, осуществляющих контролируемый и управляемый людьми процесс перемещения горной массы во времени и пространстве.

Геотехнический комплекс (ЭАК, ДКК и т.п.) – цепь взаимосвязанных машин и механизмов, обеспечивающих полностью механизированный процесс во всех его звеньях и на всех его этапах (погрузка, транспортирование, дробление и другие).

Адаптация (от латинского слова «adapto») – прилаживаю. В горную терминологию понятие адаптации впервые введено Е.И. Роговым и развито им применительно к подземной добыче, теоретическое развитие проблема получила в трудах В.Н. Вылегжанина, понятие адаптация для геотехнологии использовали В.И. Прокопенко и А.В. Юдин [6], но они носят узконаправленный характер и связаны главным образом с гибкостью и надежностью горно-технических систем. При этом можно констатировать, что эта область знаний находится в состоянии интенсивного развития, является актуальной и имеющей фундаментальный характер [7]. А.Б. Георгиевский рассматривает адаптацию как особую форму отражения системами воздействий внутренней и внешней среды, заключающуюся в тенденции установления с ними динамического равновесия [8, с. 2]. Более развёрнутые определения адаптации для горнотехнических систем даны В.Л. Яковлевым [8] и С.П. Решетняком [6].

В 1989 г. В.Л. Яковлев сформулировал понятие адаптации как способ обеспечения единства функционирования технологических процессов добычи, транспортировки, переработки, складирования руд и пород с целью реализации основного принципа транспортных систем глубоких карьеров [9].

С.П. Решетняк под адаптацией понимает процесс целенаправленного изменения одного или нескольких параметров системы «карьер» (параметрическая адаптация) либо изменения ее структуры (структурная адаптация) для сохранения приемлемого уровня функционирования [6].

Мы будем понимать ***адаптацию*** как ***целенаправленное изменение параметров и структуры системы, которое заключается в определении критериев её функционирования и достижении этих критериев для сохранения приемлемого уровня функционирования.***

Любое изменение параметров и структуры системы является элементом адаптации. «Основная цель управления адаптацией состоит в отыскании причин, нарушающих согласованное взаимодействие внутри системы, а также в определении механизмов, позволяющих оперативно и своевременно организовывать целенаправленное воздействие, при котором достигаются поставленные цели и обеспечивается оптимальное состояние системы» [10, с. 53]. Поэтому далее *под управлением будем понимать* процесс организации такого целенаправленного воздействия на объект, в результате которого этот объект достигает приемлемого уровня функционирования. Существенной особенностью управления адаптацией является её многоуровневость [7].

Процесс адаптации осуществляется на нескольких иерархических уровнях, соответствующих различным этапам управления объектом:

– *параметрическая адаптация* – определение, изменение и регулирование параметров в режиме нормального функционирования объекта. Относится, как правило, к краткосрочному временному интервалу;

– *структурная адаптация* – изменение структуры объекта (отдельных элементов, их связей и функций). Относится, как правило, к продолжительному периоду времени;

– *адаптация объекта* – определение и изменение объекта, выбор его наилучшего варианта, например, изменение технологических схем транспортирования, рабочих зон и т.д.

– *адаптация целей* – изменение потребностей субъекта, пользующегося услугами созданной системы управления и поставленного перед необходимостью такой адаптации, например, изменение техники и технологии отработки месторождения и т.п.

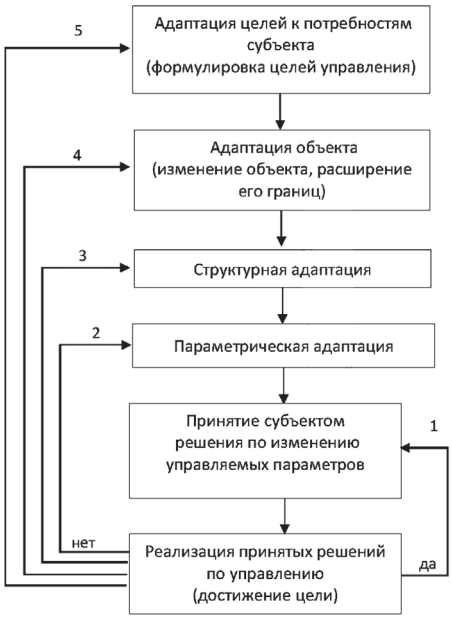
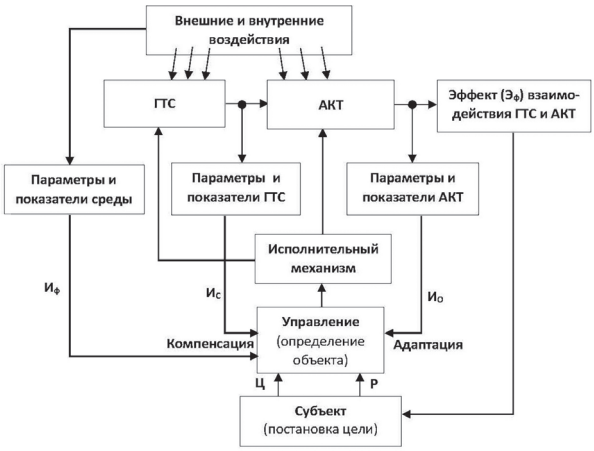


Рис. 1
Последовательность этапов взаимной адаптации ГТС и АКТ

Fig. 1
The sequence of stages in mutual adaptation of the mining system and the truck-and-conveyor transport



Иф – информация о внешних и внутренних факторах, оказывающих влияние на взаимное соответствие ГТС и АКТ;
Ис – информация о горнотехнической системе;
Ио – информация об объекте (АКТ);
Ц – целевая функция: достижение требуемого эффекта ($Э_т$), $Ц = Э_т \leq Э_ф$;
Р – решения технические, технологические и организационные по достижению заданной цели.

Рис. 2
Схема управления взаимной адаптацией АКТ и ГТС под воздействием внешних факторов

Fig. 2
A management flow-chart for the mutual adaptation of the truck-and-conveyor transport and the mining system under the influence of external factors

На каждом уровне адаптации решается одна и та же задача – обеспечение достижения системой поставленных целей. Каждый последующий уровень адаптации осуществляется в том случае, если предшествующие не позволяют субъекту достичь приемлемого уровня функционирования системы (рис. 1).

Источником целей, реализуемых при управлении взаимной адаптацией, является субъект. Цели возникают у субъекта под давлением необходимости достичь минимальных затрат при транспортировании горной массы автомобильно-конвейерным транспортом. Как было изложено выше, субъектом является организационная система предприятия, представлять которую может один человек (например, директор, менеджер, начальник участка, рабочий и т.п.) либо группа людей, объединенных по какому-либо профессиональному признаку (например, заместители директора, начальники участков, ремонтная бригада и т.п.).

Рассчитывать, что развивающаяся горнотранспортная система с увеличением глубины карьера в определенный момент времени примет форму, соответствующую достижению автомобильно-конвейерным транспортом приемлемого уровня функционирования, не приходится, поэтому субъект предпочитает управлять ситуацией (рис. 2), то есть целенаправленно воздействует на ГТС (изменяя её), адаптируя её к АКТ, и воздействует на АКТ, адаптируя его к ГТС. Начинает действовать закон взаимной адаптации [11], который гласит, что формирование и развитие любой системы есть процесс взаимной адаптации между элементами системы и между системой в целом и внешней средой.

Итак, взаимная адаптация является реакцией на изменение внешних и внутренних (природных, технологических, технических, экологических, экономических, финансовых и социальных) факторов и выражается в тенденции установления приемлемого уровня функционирования систем, обеспечивающего динамическое равновесие параметров и показателей АКТ и развивающейся горнотехнической системы, а также выполнение целевой функции, то есть достижение требуемого уровня эффективности.

Результаты исследования

Согласно закону взаимной адаптации эффективность циклично-поточной технологии разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых обеспечивается взаимосвязанным и последовательным управлением процессами взаимной адаптации между геотехническими комплексами внутри автомобильно-конвейерного транспорта и между автомобильно-конвейерным транспортом и развивающейся горнотехнической системой карьера, путем принятия субъектом заранее спланированных технических, технологических и организационных решений в качестве реакции на изменение внутренних и внешних факторов, с учетом исследования переходных процессов и закономерностей их развития (рис. 3).

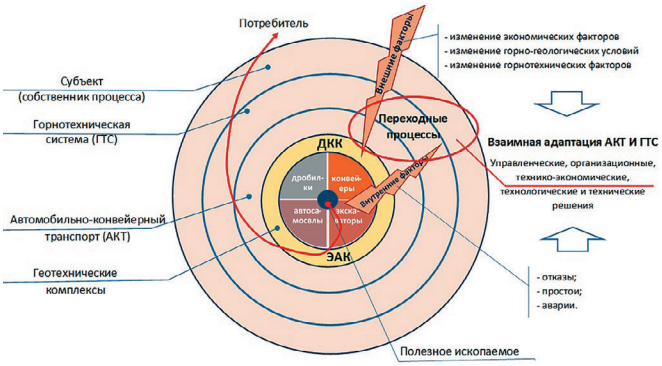


Рис. 3
Графическое представление концепции взаимной адаптации АКТ и ГТС под влиянием внешних и внутренних факторов

Fig. 3
A graphical representation of the concept for mutual adaptation of the truck-and-conveyor transport and the mining system under the influence of external and internal factors

Таблица 1
Управление переходными процессами транспортных систем при ЦПТ

Table 1
Management of transient processes in transport systems with in-pit crushing and conveying technology

Способы и мероприятия	Вид переходных процессов	
	долговременные	**кратковременные**
Способы управления переходными процессами	Минимизация времени перехода на автомобильно-конвейерный транспорт	Учет при определении режима работы дробильно-конвейерного комплекса и выборе оборудования геотехнических комплексов
Проводимые организационно-технические мероприятия по управлению	– разработка принципиальных проектных решений по формированию карьерного пространства с момента перехода до конечной глубины разработки карьера с увязкой пунктов перегрузки горной массы (ДПП, перегрузки между конвейерами) с капитальным автомобильным съездом; – проведение горно-капитальных и строительно-монтажных работ параллельно с текущим ведением горных работ; – максимальное совмещение различных видов работ во времени и пространстве; – обеспечение выполнения планового задания по добыче полезного ископаемого путем дополнительного вскрытия запасов, увеличения фронта добычных работ и др. – ввод дополнительного оборудования для интенсификации горных работ в т.ч. горно-капитальных и строительных;	– определение эффективного времени работы дробильно-конвейерного комплекса и необходимого часового грузопотока; – выбор качественного и количественного состава оборудования экскаваторно-автомобильного комплекса; – поддержание в процессе эксплуатации рационального резерва оборудования цикличного комплекса (ЭАК); – совершенствование организации взаимодействия поточного и цикличного комплексов
	– анализ результатов проводимых мероприятий и внесение корректив в управление переходными процессами согласно схеме, приведенной на рис. 2	

При циклично-поточной технологии разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых закономерно возникает необходимость в реализации долговременных и кратковременных планов действий, сущность которых заключается в принятии научно обоснованных управленческих, организационно-технических и технологических решений для взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающегося карьерного пространства в условиях углубления карьера (табл. 1). Долговременные (годы) переходные процессы характеризуются повышенной интенсивностью горных работ, связанных с совершенствованием транспортной системы на разных этапах разработки карьера. Кратковременные (минуты-сутки) процессы перехода имеют стохастический характер возникновения и связаны со случайными показателями геотехнических комплексов системы.

На основании проведенных исследований установлено качественное изменение основных факторов, в определенной мере характеризующих транспортную систему на разных этапах разработки карьеров и связанных с влиянием переходных процессов на эффективность эксплуатации карьерного транспорта, и предложены основные способы управления переходными процессами, предполагающие проведение организационно-технологических и технических управленческих мероприятий на стадии проектирования путем рассмотрения разработки месторождений полезных ископаемых до конечной глубины карьеров, а также в процессе развития горных работ.

При этом проведение необходимых и достаточных организационно-технических мероприятий является основным способом минимизации продолжительности долговременных переходных процессов. Кратковременные переходные процессы служат основанием для определения рационального резерва оборудования в смежных звеньях ЦПТ путем учета их при выборе режима работы дробильно-конвейерных комплексов (ДКК) и оборудования экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК).

На примере анализа развития и эксплуатации горнотехнической системы Ингулецкого ГОКа оценено влияние переходных процессов на показатели работы комплексов ЦПТ. Установлена доля снижения среднесменной производительности системы ЦПТ из-за негативного влияния кратковременных переходных процессов в технических звеньях системы. Эта доля при общем среднесменном снижении производительности комплексов составляет в экскаваторном звене – 0,5–0,65, звене сборочного автотранспорта – 0,08–0,15, дробильно-конвейерных комплексов – 0,22–0,33, дробильно-обогатительной фабрики – 0,03–0,11, ЦПТ в отдельные месяцы в пределах 15–22% планируемого грузопотока. Также установлена неравномерность часовых, сменных, суточных, месячных и годовых грузопотоков комплекса ЦПТ.

Таким образом, усиление влияния существа переходных процессов на взаимное соответствие АКТ и горнотехнической системы по мере наращивания глубины карьера в условиях непрерывного развития карьерного пространства вызывает необходимость периодического обоснования технологических требований к динамическому формированию систем АКТ, выбору новых видов транспортных средств и схем транспортирования с изменением управленческих, организационно-технических и технологических решений во времени.

Ещё одним элементом взаимной адаптации ГТС и АКТ является принятие решений о выборе структуры парка горнотранспортных машин, составляющих геотехнические комплексы. В общем виде алгоритм расчета параметров и выбора оборудования системы АКТ представлен на рис. 4.

Техническое перевооружение открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых 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

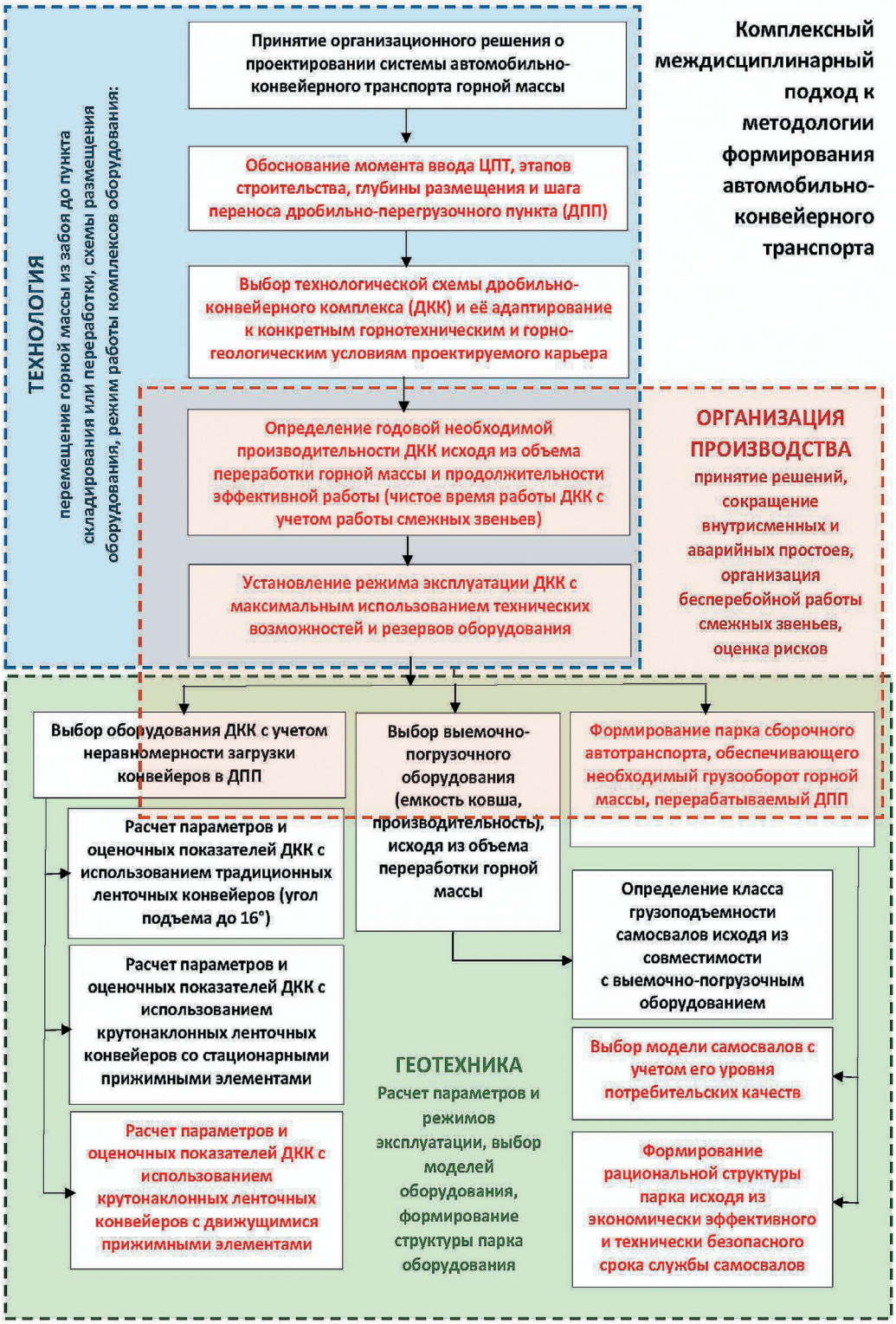


Рис. 4
Алгоритм расчета параметров и выбора оборудования системы АКТ

Fig. 4
Calculation and equipment selection algorithm for the truck-and-conveyor transport system

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 [1–3; 12–20]. 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.

Системный подход обеспечивает оптимизацию параметров оборудования ДКК и сборочного автомобильного транспорта, а также рациональное количественное и качественное их соотношение в системах ЦПТ. Взаимосвязь при выборе оборудования системы осуществляется путем

учета времени работы, функционального критерия – производительности звена, характеризующегося наибольшей жесткостью соединения оборудования и срока службы оборудования, определяемого через заданный объем и себестоимость работ по перемещению горной массы. При этом экономическая целесообразность списания конкретного автосамосвала определяется на основании сравнения фактической и допустимой себестоимости транспортирования горной массы.

Выбор конкурирующей модели автосамосвала применительно к сложившимся условиям производится исходя из отношения показателей уровня потребительских качеств и стоимости владения, а парк сборочного автотранспорта формируется исходя из обеспечения годового объема перевозок горной массы при условии поддержания среднего возраста автосамосвалов на уровне 5–7 лет и расчетной рентабельности работы автотранспортного предприятия.

Заключение

Методология процесса взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся с ростом глубины горнотехнической системы карьера – это:

– логически организованный процесс взаимной адаптации АКТ и ГТС карьера в условиях непрерывного изменения внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на эффективность процессов добычи и транспортирования горной массы;

– методы и принципы достижения эффективности взаимной адаптации АКТ и ГТС путем своевременного (текущего и стратегического) планирования и осуществления технических, технологических и организационных мероприятий (решений), обоснованных с учетом закономерностей формирования АКТ и ГТС по мере увеличения глубины карьера;

– критерии оценки эффективности взаимной адаптации АКТ и ГТС.

Список литературы

1. Яковлев В.Л. Приоритетные направления исследований Института горного дела УрО РАН на период до 2010 г. В кн.: Гальянов А.В. (ред.) *Геотехнические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. тр.* Екатеринбург; 2004. С. 27–38.

2. Яковлев В.Л. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов.* Екатеринбург: УрО РАН; 2019. 284 с.

3. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья.* Екатеринбург: ИГД УрО РАН; 2018. 360 с.

4. Глебов А.В. Методические принципы выбора основного оборудования структур механизации циклично-поточной технологии. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2021;(5-2):296–308. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_296

5. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. *Комбинированная геотехнология.* М.: Руда и металлы; 2003. 558 с.

6. Решетняк С.П. *Создание систем ЦПТ с внутрикарьерными передвижными дробильно-перегрузочными комплексами: дис. д-ра техн. наук.* Апатиты; 1997. 422 с.

7. Растригин Л.А. *Адаптация сложных систем.* Рига: Зинатне; 1981. 386 с.

8. Георгиевский А.Б. *Эволюция адаптаций (историко-методологическое исследование).* Л.: Наука; 1989. 189 с.

9. Яковлев В.Л. *Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров.* Новосибирск: Наука; 1989. 238 с.

10. Галкина Н.В., А.И. Татаркин (ред.). *Социально-экономическая адаптация угледобывающего предприятия к инновационной модели технологического развития.* М.: Экономика; 2007. 248 с.

11. Венда В.Ф. О законах взаимной адаптации и трансформации систем. *Вопросы философии.* 2017;(2):94–105.

12. 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):98–104. https://doi.org/10.15372/FTPRPI20190511

13. Yakovlev V.L., Glebov A.V., Kulniyaz S.S., Karmaev G.D. Comparative analysis of the application of steep conveyor lines on quarries. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2020;3(441):88–96. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.58

14. 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. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2020;4(442):127–137. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.93

15. Дребенштедт К., Риттер Р., Супрун В.И., Агафонов Ю.Г. Мировой опыт эксплуатации комплексов циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением. *Горный журнал.* 2015;(11):81–87. https://doi.org/10.17580/gzh.2015.11.17

16. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review. *Interfaces (Hanover).* 2014;44(2):143–162. https://doi.org/10.1287/inte.2013.0732

17. Burt C.N., Caccetta L. (eds) *Equipment selection for mining: With case studies.* Springer; 2018. 155 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76255-5

18. Dzakpata I.K., Knights P., Kizil M.S., Nehring M., Aminossadati S. Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time. In: *Coal Operators' Conference.* Wolloongong: The University of Wolloongong; 2016, pp. 463–476.

19. 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):4–11.

20. 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):100–109. Режим доступа: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=166800&ARTICLE_ID=166807

References

1. Yakovlev V.L. Priority directions of research of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for the period up to 2010. In: Galiyanov A.V. (ed.*) Geotechnical problems of complex development of mineral resources.* Ekaterinburg; 2004, pp. 27–38. (In Russ.)
2. Yakovlev V.L. *Study of transients as a new direction in the evolvement of integrated development of geo-resources.* Ekaterinburg: Ural Branch of RAS; 2019. 284 p. (In Russ.)
3. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V. *Innovation basis for the strategies of integrated development of mineral resources.* Ekaterinburg: Institute of Mining of Ural Branch of RAS; 2018. 360 p. (In Russ.)
4. Glebov I.V. Methodological principles of equipment selection for cyclical-and-continuous technology mechanization. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5-2):296–308. (In Russ.)https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_296
5. Kaplunov D.R., Kalmykov V.N., Rylnikova M.V. *Combined geotechnology.* Moscow: Ruda i metally; 2003. 558 p. (In Russ.)
6. Reshetnyak S.P. *Creation of conveyor ore transportation systems with in-quarry mobile loading and unloading complexes: Thesis Dr. Sci. (Eng.).* Apatity; 1997. 422 p. (In Russ.)
7. Rastrigin L.A. *Adaptation of complex systems.* Riga: Zinatne; 1981. 386 p. (In Russ.)
8. Georgievsky A.B. *Evolution of adaptations (historical and methodological research).* Leningrad: Nauka; 1989. 189 p. (In Russ.)
9. Yakovlev V.L. *Theory and practice of choosing deep quarry transport.* Novosibirsk: Nauka; 1989. 238 p. (In Russ.)
10. Galkina N.V.; A.I. Tatarkin (ed.). *Social and economic adaptation of a coal mining enterprise to an innovative model of technological development.* Moscow: Ekonomika; 2007. 248 p. (In Russ.)
11. Venda V.F. On the laws of mutual adaptation and transformations of the systems. *Voprosy Filosofii.* 2017;(2):94–105. (In Russ.)
12. 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;55(5):783–788. https://doi.org/10.1134/S106273911905615X
13. Yakovlev V.L., Glebov A.V., Kulniyaz S.S., Karmaev G.D. Comparative analysis of the application of steep conveyor lines on quarries. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2020;3(441):88–96. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.58
14. 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. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences.* 2020;4(442):127–137. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.93
15. Drebenstedt C., Ritter R., Suprun V.I., Agafonov Yu.G. Cyclical-and-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyi Zhurnal.* 2015;(11):81–87. (In Russ.) https://doi.org/10.17580/gzh.2015.11.17
16. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review. *Interfaces (Hanover).* 2014;44(2):143–162. https://doi.org/10.1287/inte.2013.0732
17. Burt C.N., Caccetta L. (eds) *Equipment selection for mining: With case studies.* Springer; 2018. 155 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76255-5
18. Dzakpata I.K., Knights P., Kizil M.S., Nehring M., Aminossadati S. Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time. In: *Coal Operators' Conference.* Wolloongong: The University of Wolloongong; 2016, pp. 463–476.
19. Yakovlev V.L., Karmaev G.D., Bersenev V.A., Sumina I.G. On the introduction of the cyclicflow technology in open pits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal.* 2015;(3):4–11. (In Russ.)
20. 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;52(1):102–109. https://doi.org/10.1134/S1062739116010174

Информация об авторе
Глебов Андрей Валерьевич – кандидат технических наук, заместитель директора, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: glebov@igduran.ru

Information about the author
Andrey V. Glebov – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: glebov@igduran.ru

Информация о статье
Поступила в редакцию: 30.09.2021
Поступила после рецензирования: 19.10.2021
Принята к публикации: 21.10.2021

Article info
Received: 30.09.2021
Revised: 19.10.2021
Accepted: 21.10.2021