

их отделения от массива горных пород [Текст] / Д.Е. Егоров // Записки Горного института. – 2006. – Т.167, ч. 1. – С. 10–12.

2. А.с. 857431 СССР, Класс E21B 25/00. Устройство для отделения керна [Текст] / В.В. Чубаров, В.В. Чуносков (СССР). – №2723301/22-03; заявл. 06.02.1979; опубл. 23.08.1981, бюл. №31. – 4 с.; ил.

3. Бородин А.А. О возможности выемки кимберлитовой руды вертикальными цилиндрическими выработками [Текст] / А.А. Бородин, Н.П. Бородин, А.А. Бородин // Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы: сб. докл. Международ. научно-практ. конф. Мирный 1–9 июля 2001 г. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – С. 339–345.

4. Точилин В.И. Энерго- и ресурсосберегающие

технологии разработки малых кимберлитовых трубок [Текст] / В.И. Точилин // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: сб. докл. Международ. научно-практ. конф. Мирный, 11–15 апр. 2011г. – Новосибирск: Наука, 2011. – С. 559–563.

5. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок [Текст] / В.В. Аксенов. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. – 263 с.

6. Курилко А.С. Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания–оттаивания на физико-механические свойства горных пород [Текст] / А.С. Курилко; отв. ред. В.А. Шерстов. – Якутск: ЯФГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – 154 с.

Поступила в редакцию 07.10.2015

УДК 622.68

Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров

В.Л. Яковлев, Ю.А. Бахтурин, А.Г. Журавлев

Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург

Приводятся результаты исследований в области развития карьерного транспорта. Приведены выявленные закономерности, а также сформулированы основные принципы и положения стратегии формирования транспортных систем карьеров. Установлено, что обоснование адаптивного характера развития транспортных систем карьеров, выявление закономерностей и ограничений их формирования, определение наиболее вероятного прогнозного фона наряду с методами прогнозирования и универсальной интерактивной моделью функционирования сложных транспортных систем карьеров составляют методическую основу долгосрочного и дальнесрочного прогнозов формирования транспортных систем карьеров. Определены перспективные направления исследований и приведены некоторые результаты в области теории карьерного транспорта.

Ключевые слова: транспортные системы карьеров, закономерности, принципы, стратегия формирования, адаптация, имитационное моделирование, прогноз.

Main Aspects of Forming and New Scientific Directions of Research of Open Pit Mining Transport Systems

V.L. Yakovlev, Yu. A. Bahturin, A.G. Zhuravlev

Institute of Mining UB RAS, Yekaterinburg

The article presents the results of the research in the field of open pit mining transport development. The revealed regularities are described and the basic principles and provisions of the strategy of open pit mining transport systems formation are formulated. It is established that the establishment of the adaptive nature of open-pit mines transport systems development, revealing of the regularities and constraints of their formation, determining of the most likely forecast background along with the methods of prediction and the universal interactive model of functioning of complex open pit mining transport systems constitute the methodological basis of long-term and overlong-term forecasts of formation these transport systems, which should be

ЯКОВЛЕВ Виктор Леонтьевич – член-корр. РАН, акад. АН РС(Я), советник РАН, г.н.с.; БАХТУРИН Юрий Алексеевич – к.т.н., зав. лаб.; ЖУРАВЛЕВ Артем Геннадьевич – к.т.н., с.н.с.

based on new researches, clarifying and developing the theory of open pit mining transport systems formation. Promising directions of research are defined and some results in the theory of open pit mining transport are presented.

Key words: open pit transport system, regularities, principles, strategy of formation, adaptation, simulation, forecast.

Введение

Транспортирование горной массы представляет один из основных и наиболее трудоемких процессов открытых горных работ. По мере роста глубины карьеров доля затрат на карьерный транспорт доходит до 55 и даже 70% в общих затратах на добычу полезного ископаемого. Транспортная составляющая оказывает значительное влияние на решение основных научных и проектных задач, а процесс транспортирования горной массы – основа открытой геотехнологии. В связи с этим одной из основных задач рационального природопользования и технологии экологически безопасной разработки месторождений является развитие и совершенствование карьерного транспорта. Особое место в рамках решения задачи занимают вопросы выявления особенностей и обоснования стратегии формирования горнотранспортных систем глубоких карьеров, эти вопросы традиционно исследуются Уральской школой карьерного транспорта, основателями которой являются Васильев М.В. и член-корр. РАН Яковлев В.Л. Выявлены закономерности изменения параметров транспортного процесса в динамике развития горных работ, разработаны методики определения технико-экономических показателей автомобильного, конвейерного, железнодорожного видов карьерного транспорта при их самостоятельном или комбинированном применении с учетом взаимосвязей со смежными процессами горного производства; обоснованы области эффективного применения различных видов карьерного транспорта, разработаны методы определения момента перехода от одних видов и схем транспорта к другим; обоснованы технологические требования на создание новой горнотранспортной техники, сформулированы основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров и разработана методика выбора вида карьерного транспорта [1].

Закономерности формирования транспортных систем карьеров

Основная общая закономерность формирования транспортных систем карьеров для карьеров большой глубины и производительности заключается в одновременном применении нескольких видов транспорта, их комбинаций и переходе от одних схем транспортирования к другим. К числу общих закономерностей также отнесены следующие:

1. В целях уменьшения объемов горно-капитальных работ, а также вскрышных работ в первые периоды эксплуатации, их более равномерного распределения во времени при разработке глубоких карьеров в течение длительного времени с начала эксплуатации отсутствуют постоянные борты, поэтому транспортные коммуникации вынужденно создаются на временно нерабочих бортах; горные работы, как правило, ведутся поэтапно, в связи с чем при переходе от одного этапа к другому неизбежна перестройка внутрикарьерной части транспортной системы.

2. По мере развития карьера увеличиваются расстояния транспортирования и высота подъема горной массы, поэтому даже при сохранении годовых объемов добычи существенно возрастает трудоемкость ее транспортирования, вызывая необходимость пополнения парка транспортных средств, введения новых видов транспорта, перехода к комбинированным транспортным схемам.

3. Технический прогресс в развитии действующих и создании новых видов транспорта за длительный период эксплуатации карьера позволяет неоднократно менять оценку эффективности применения тех или иных видов карьерного транспорта и пересматривать области рационального их использования в конкретных горнотехнических условиях. Этому также способствуют неодинаковые для различных видов транспорта закономерности изменения технико-экономических показателей объемов перевозок, высоты подъема и дальности транспортирования.

4. Техническая, технологическая и экономическая оценки основных видов карьерного транспорта позволяют рекомендовать следующие предпочтительные условия их применения:

- по энергетическим затратам и экономическим показателям при грузопотоках более 15–20 млн. т и расстояниях транспортирования более 3–5 км наиболее эффективным является железнодорожный транспорт, поэтому в карьерах большой глубины и производительности его применение практически всегда целесообразно, при этом зона его использования по глубине должна быть по возможности максимальной и ограничиваться лишь условиями вписывания железнодорожных путей;

- наибольшую трудоемкость и энергоемкость во всем диапазоне глубины карьеров имеет ав-

томобильный транспорт, поэтому его самостоятельное применение эффективно в карьерах глубиной до 120–150 м и производительностью не более 15–20 млн т, в основном в схемах комбинированного транспорта в качестве сборочного звена при расстоянии перевозок до 1,5–2,5 км и высоте подъема не более 80–100 м;

– конвейерный транспорт конкурентоспособен в сравнении с железнодорожным для подъема горной массы (как правило, руды) с глубоких горизонтов, при этом на карьерах глубиной более 350–400 м при развитой сети коммуникаций железнодорожного транспорта в верхней зоне карьера для отработки глубинной части эффективными могут быть трехзвенные схемы комбинированного автомобильно-конвейерно-железнодорожного транспорта.

5. Рациональны две основные группы типовых схем последовательного формирования транспортных систем глубоких карьеров:

I группа – на основе автомобильного и крутонаклонных (конвейерного, скипового и др.) видов транспорта;

II группа – на основе железнодорожного и автомобильного транспорта, а в дальнейшем и крутонаклонного подъема, причем применение железнодорожного транспорта должно предусматриваться с первых лет эксплуатации карьера.

Основные принципы формирования транспортных систем карьеров

Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров представлены в таблице.

Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров и способы их учета

Принципы	Способ реализации
Оптимизация параметров транспортной системы карьера в течение всего срока разработки месторождения	Системный подход к оценке эффективности видов и схем транспорта. Поэтапная оптимизация на основе критериев эффективности. Учет динамики технико-экономических показателей
Обеспечение соответствия транспортной системы карьера изменяющимся горно-техническим условиям разработки месторождения	Дифференциация горно-технических условий разработки по глубине карьера. Учет изменения величины и направления грузопотоков горной массы.
Обеспечение единства функционирования технологических процессов добычи, транспортировки, переработки и складирования руд и пород	Учет взаимодействия отдельных видов транспорта между собой и с технологией смежных процессов. Обеспечение способности транспортной системы к адаптации

Основные положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров

Основные положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров сводятся к следующему:

1. Одновременное или последовательное применение двух или более видов транспорта в самостоятельном или комбинированном использовании является объективно неизбежным.

2. Как при проектировании нового глубокого карьера, так и при его реконструкции транспортная система для всех этапов разработки должна рассматриваться и приниматься с учетом ее развития до конца разработки месторождения.

3. Последовательность формирования транспортной системы карьера должна согласовываться с общей закономерностью развития горных работ, порядком разработки месторождения, развитием схемы вскрытия, формированием рабочей зоны и грузопотоков руды и вскрыши в течение всего срока службы карьера.

Сформулированные закономерности, основные принципы и положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров объективно отражают определенный период формирования транспортных систем карьеров в условиях плановой экономики, когда параметры экономической среды оставались практически неизменными, а технический и технологический уровень основных видов карьерного транспорта (автомобильного, конвейерного и железнодорожного) был примерно одинаков. Кроме того, экономическая оценка инвестиционных проектов производилась без учета дисконтирования затрат. В настоящее время используются утверждённые в 1994 г. Министрством экономики и финансов РФ, Госстроем и Госпромом России «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования», которые опираются на основные принципы и сложившиеся в мировой экономике подходы к оценке эффективности инвестиций. Практика применения «Методических рекомендаций...» для решения задач формирования транспортных систем выявила ряд негативных моментов. Применяемые при этом коэффициенты дисконтирования таковы, что при периоде оценки более 10–12 лет отдельные платежи оказывают незначительное влияние на величину интегральных критериев оценки и нивелируют различия в сравниваемых вариантах. Очевидно, что при рыночной экономике и прежние хорошо отработанные схемы формирования транспорт-

ных систем карьеров не могут быть в чистом виде перенесены в современные программы стратегического развития и требуют существенной корректировки. В частности, выявлены существенные отличия в развитии транспортных систем карьеров при плановой и рыночной экономике. Долгосрочный и дальнесрочный прогноз формирования транспортных систем карьеров должен быть основан на новых исследованиях, уточняющих и развивающих теорию формирования транспортных систем карьеров. Методическое обеспечение долго- и дальнесрочного прогноза формирования транспортных систем карьеров включает следующие этапы:

1. Установление факторов влияния прогноза.
2. Выявление основных закономерностей и тенденций формирования транспортных систем карьеров.
3. Определение основных параметров прогнозного фона, в частности, темпов роста цен на углеводородное сырье, ужесточения экологических требований к карьерному транспорту.
4. Разработка алгоритма сценариев развития ситуации по этапам.
5. Имитационно-статистическое моделирование функционирования транспортных систем карьеров. Выявление ограничений их развития.
6. Разработка способов верификации и корректировки прогноза.
7. Разработка алгоритма принятия решения по окончательному варианту сценария.

Решения сформулированной выше проблемы методического обеспечения прогноза формирования транспортных систем карьеров предлагается достичь при:

- прогнозе на основе количественного и качественного анализа тенденций и закономерностей их развития при адаптивном управлении, совершенствовании научно-методической базы и программного обеспечения моделирования функционирования транспортных систем карьеров;
- учете адаптивного характера развития транспортных систем карьеров, выявлении закономерностей и ограничений их формирования, определении наиболее вероятного прогнозного фона;
- использовании разработанных имитационных интерактивных моделей функционирования основных видов карьерного транспорта. Это позволяет «проиграть» варианты развития транспортных систем карьеров;
- вероятном прогнозном фоне с учетом макроэкономических показателей, в частности, цен на углеводородное сырье;
- обширном материале по формированию горнотранспортных систем, наработанным Уральской школой карьерного транспорта.

Перспективные направления исследований транспортных систем карьеров

Основные направления исследований в области карьерного транспорта:

1. Методическое обеспечение структурной и параметрической адаптации транспортных систем карьеров к изменению эндогенных и экзогенных условий, долгосрочного прогноза их развития.
2. Разработка и совершенствование имитационных моделей функционирования транспортных систем карьеров.
3. Обоснование сфер рационального применения различных видов транспорта, в том числе и специализированных для различных горнотехнических и горно-геологических условий.
4. Развитие теоретических основ технологий освоения месторождений «Интеллектуальное горное предприятие» (безлюдные технологии, оптимизирующие диспетчерские системы III поколения).
5. Разработка инновационных решений в технологическом транспорте и оптимизация технологических схем транспорта для создания природо- и ресурсосберегающих схем вскрытия месторождений.

Исследования по этим направлениям в ИГД УрО РАН проводятся на систематической основе [2–17]. Так, разработана универсальная интерактивная модель функционирования сложных транспортных систем карьеров, позволяющая с учетом вероятностного характера горнотранспортного процесса для различных горнотехнических условий и различных видов транспорта решать широкий круг задач [18–20]. Универсальность модели заключается в следующем:

- воспроизводит процесс транспортирования горной массы для всех основных видов карьерного транспорта (автомобильный, железнодорожный, конвейерный, автомобильно-конвейерный, автомобильно-железнодорожный, автомобильно-конвейерно-железнодорожный) как при их отдельном, так и параллельном применении. То есть моделируется функционирование любой из известных транспортных систем карьеров;
- может использоваться для решения широкого круга задач – например, от оперативного управления горнотранспортными комплексами, оценки влияния и выбора параметров горнотранспортного оборудования до долгосрочного прогнозирования параметров транспортных систем карьеров. Все зависит от полноты и точности исходных данных;
- может применяться для оптимизации

управления технологическими процессами горнотранспортных работ, в том числе для «подсказки» диспетчеру в режиме реального времени.

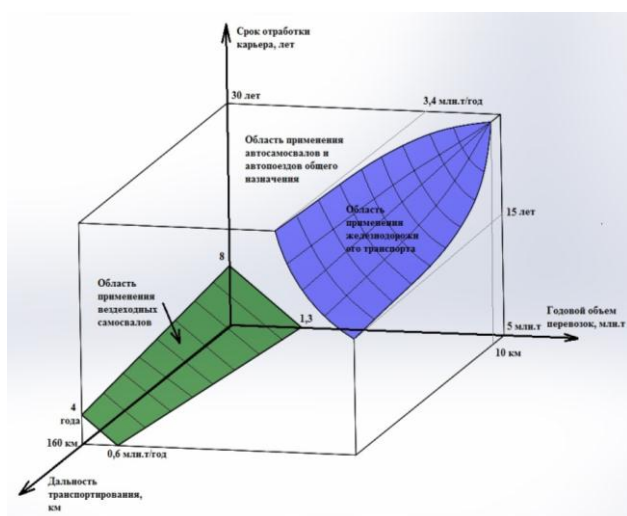
Моделирование осуществляется как в автоматическом режиме по заданным заранее принципам управления транспортным комплексом, так и в ручном режиме, когда интерактивно принимаются решения в любой момент времени. За счет интерактивности с применением модели можно «проигрывать» практически любые возможные варианты транспортирования горной массы в течение отчетного периода. Установлено, что учет адаптивного характера развития транспортных систем карьеров, выявление закономерностей и ограничений их формирования, определение наиболее вероятного прогнозного фона (с учетом динамики макроэкономических показателей) наряду с применением методов прогнозирования и универсальной интерактивной модели функционирования транспортных систем карьеров составляют методическую основу для достоверного долгосрочного прогноза формирования транспортных систем карьеров. Выявлены тенденции и закономерности формирования транспортных систем карьеров, обеспечивающих энергоэффективность и ресурсосбережение особых условий природопользования. Разработана методика обоснования областей применения магистральных видов транспорта горнодобывающих предприятий для доставки руды от удаленных малообъемных месторождений. Установлены области предпочтительного применения магистрального транспорта горнорудных предприятий для особых условий разработки кимберлитовых карьеров (рисунк).

Заключение

Таким образом, выявлены закономерности и сформулированы основные принципы и положения стратегии формирования транспортных систем карьеров. Установлено, что долгосрочный и дальнесрочный прогноз формирования транспортных систем карьеров должен быть основан на новых исследованиях, уточняющих и развивающих теорию формирования транспортных систем карьеров. Определены перспективные направления исследований и приведены некоторые результаты в области теории карьерного транспорта.

Литература

1. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. – Новосибирск: Наука, 1989. – 240 с.
2. Технологические и организационно-экономические аспекты освоения минерально-сырьевых ресурсов Урала / С.В. Корнилов, В.Л. Яковлев // Проблемы и тенденции рационального и безопасного освоения георесурсов: сб. докладов Всерос. научно-техн. конф. с международ. участием, посв. 50-летию Горного института КНЦ РАН. – Апатиты; СПб., 2011. – С. 68–77.
3. О роли прогноза геологических, технологических и социально-экономических условий освоения месторождений в обеспечении устойчивого инновационного развития горного производства / В. Л. Яковлев // Проблемы и пути эффективной обработки алмазоносных месторождений: сб. докладов Международ. научно-практ. конф. Мирный, 2011 / Якутский проалмаз. – Новосибирск: Наука, 2011. – С. 73–79.
4. Современное состояние, проблемы и перспективы развития карьерного транспорта / В. Л. Яковлев, В. А. Яковлев // Проблемы карьерного транспорта: материалы XI Международ. научно-практ. конф. 12–14 окт. 2011 г. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2011. – С. 6–11.
5. Эволюция карьерного транспорта / В. Л. Яковлев, В.Ф. Столяров // Проблемы карьерного транспорта: материалы XI Международ. научно-практ. конф. 12–14 окт. 2011 г. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2011. – С. 182–186.
6. Генезис транспортных систем / В.Л. Яковлев, В.Ф. Столяров // Транспорт Урала. – 2008. – № 4. – С. 2–5.
7. Новая концепция развития горнотранспортных систем / В.Л. Яковлев, В.Ф. Столяров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 12. – С. 242–249.
8. О роли научного прогноза технического прогресса и технологического развития в горной промышленности / В.Л. Яковлев // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. научных трудов. Вып. 4 / 94. / ИГД УрО. – Екатеринбург, 2008. – С. 144–147.
9. Состояние и перспективы развития карьерного



Области предпочтительного применения видов транспорта при транспортировке руды от удаленных малообъемных кимберлитовых месторождений

транспорта / В.Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. Горные машины. – 2008. – Отд. прилож. № 8. – С. 9.

10. *Теория развития горнотранспортных систем*/ В.Л. Яковлев, А.В. Глебов, Ю.А. Бахтурин, В.Ф. Столяров // Проблемы карьерного транспорта: материалы IX Международ. научно-практ. конф. 9–12 окт. 2007 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – С. 210–216.

11. *Технические и экономико-организационные аспекты разработки месторождений в сложных условиях эксплуатации* / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилов // Горный журнал. – 2009. – № 5. – С. 75–78.

12. *Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях на основе модернизации техники и технологии горного производства*/ А. И. Татаркин, С. В. Корнилов, В. Л. Яковлев, Е. А. Орлова // Экономика региона. – 2012. – № 4. – С. 80–92 (программа РАН № 34 «Прогноз потенциала инновационной индустриализации России»).

13. *Транспорт глубоких карьеров: состояние, проблемы, перспективы развития*/ В. Л. Яковлев // Глубокие карьеры: сб. докладов Всероссийской научно-техн. конф. с международ. участием. 18–22 июня 2012 г. / ГоИ КНЦ РАН. – Апатиты; СПб., 2012. – С. 67–80 (Доклад по программе ОНЗ -3 РАН (проект 12-Т-5-1021 УрО РАН) и программе президиума РАН № 34 (проект 12-П-5-1027 УрО РАН)).

14. *О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства* / К.Н. Трубецкой,

С.В. Корнилов, В.Л. Яковлев // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 15–19 (программа ОНЗ РАН «Прогноз технолог. развития в горнодоб. отраслях ...»).

15. *Бахтурин Ю.А.* Вопросы развития карьерного транспорта // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2008. Отд. прилож. № 8. – С. 187–210.

16. *Бахтурин Ю.А., Кармаев Г.Д., Берсенева В.А.* Вопросы применения циклично-поточной технологии на карьерах // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 62–71.

17. *Бахтурин Ю.А.* Методическое обеспечение прогноза формирования транспортных систем карьеров // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2011. Отд. вып. № 11. – С. 294–308.

18. *Бахтурин Ю.А., Кармаев Г.Д., Берсенева В.А.* Вопросы интерпретации адаптационного формирования сложных транспортных систем карьеров // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2004. – №12. – С. 166–173.

19. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2012617844* Российская Федерация. Транспортная система карьера (ТСК) /Ю.А. Бахтурин, А.Г. Журавлев, Л.А. Трофименко (РФ). – 2012615505; заявл. 03.07.12; опубл. 30.08.12.

20. *Бахтурин Ю.А., Салахиев Р.Г., Дедюхин А.В., Журавлев А.Г.* Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 82–85.

Поступила в редакцию 17.06.2015