

УДК 622.68:167.2

Яковлев Виктор Леонтьевич

член-корр. РАН,
доктор технических наук, профессор,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: yakovlev@igduran.ru

Яковлев Василий Алексеевич

младший научный сотрудник
лаборатории транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: yakovlev@igduran.ru

**ОСОБЕННОСТИ
МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА
К ФОРМИРОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ
СИСТЕМ КАРЬЕРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ***Аннотация:*

Разработка месторождений глубокими карьерами связана с изменением условий производства горных работ, что требует исследования переходных процессов в развитии транспортной системы карьера, других технологических процессов. Предложены этапы формирования транспортной системы с учетом особенностей этапов освоения месторождения. Приведены тенденции совершенствования технологических процессов на период до 2025 – 2030 гг.

Ключевые слова: сложноструктурные месторождения, транспортная система карьера, переходные процессы, инновационные технологии

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.01.065

Yakovlev Victor L.

corresponding member RAS,
professor,
the Institute of mining, the Ural branch,
Russian academy of sciences,
620075, Yekaterinburg, Mamin-Sibiryak st., 58
e-mail: yakovlev@igduran.ru

Yakovlev Vasily A.

junior research worker,
the laboratory of open pit transport systems,
the Institute of mining, the Ural branch,
Russian academy of sciences,
e-mail: yakovlev@igduran.ru

**THE FEATURES OF METHODOLOGICAL
APPROACH TO THE FORMATION
OF THE TRANSPORT SYSTEMS FOR
THE QUARRY DEVELOPMENT
OF COMPLEX FIELDS***Abstract:*

Field development of deep quarries is associated with change of conditions of mining operations, which requires the study of transient processes in the development of the transport system of the quarry, other technological processes. The proposed stages of the transport system taking into account peculiarities of stages of field development. These trends of improvement of technological processes for the period till 2025 – 2030.

Key words: deposits of complex structure, transient processes, innovative technology, quarry transport system

История развития открытых горных разработок в современном их представлении как комплексно-механизированных карьеров, методов их проектирования и научных исследований различных проблем и аспектов ведения горных работ позволяет утверждать, что в связи с разнообразием месторождений полезных ископаемых по составу, характеристике и запасам минерального сырья, географическим, природно-климатическим, социально-экономическим и иным особенностям регионов расположения месторождений, единых подходов и типовых решений проблем их освоения быть не может.

Специалисты в области открытых горных работ знают, что по мере развития рабочей зоны карьера, роста его глубины, как правило, усложняются условия производства горных работ, необходимо менять технические средства, схему вскрытия глубоких горизонтов, параметры системы разработки и транспортной системы карьера, особенно это относится к сложноструктурным месторождениям. А вот почему, когда и как переходить на новые параметры основных технологических процессов, можно ответить только в результате исследования влияния изменившихся условий на эффективность применяемых и инновационных технологий добычи, рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых с целью получения необходимого товарного продукта минерального сырья, что яв-

ляется основой методологической и организационно-технологической задачей исследования переходных процессов, что в значительной мере связано с формированием грузопотоков и транспортной системы карьера в целом.

Таблица 1

Этапы принятия решений по эффективному освоению месторождения и последовательности формирования транспортной системы его разработки

Этапы освоения месторождения	Этапы формирования транспортной системы
1. Оценка геологических, природно-климатических и социально-экономических условий освоения месторождения: разведанность, условия залегания, запасы и их качественная и технологическая характеристика, физико-механические свойства руд и пород.	Обоснование возможных для применения видов и технических средств транспорта, в том числе внутрикарьерного (сборочного и магистрального) и внешнего.
2. Проект разработки месторождения: Способ разработки (открытый, подземный, комбинированный). Границы и глубина карьера, поэтапная разработка. Производственная мощность по рудной и горной массе. Схема вскрытия и системы разработки (валовая или селективная разработка запасов). Система управления качеством (усреднение, управление развитием рабочей зоны и т. п.).	Выбор видов и технических средств транспорта, их параметров, зон эффективного применения; переходные процессы (внутри вида транспорта, с одного вида транспорта на другой); Перегрузочные пункты при схемах комбинированного транспорта, места их расположения, периодичность и порядок переноса по мере роста глубины карьера; схема транспортных коммуникаций по этапам разработки до предельных контуров карьера.
3. Строительство и ввод в эксплуатацию горного предприятия. Применяемая техника может отличаться от проектной. Уточняются объем и качественная характеристика запасов, условий их залегания, физико-механические свойства горных пород и др. Вывод: требуется корректировка проектных решений, в том числе принятие технологических решений	Применяемые в период строительства карьера виды технических средств транспорта, транспортные коммуникации должны стать звеном формируемой в дальнейшем транспортной системы. Особенно это важно при применении циклично-поточной технологии, железнодорожного транспорта, транспортные коммуникации которых следует развивать с момента ввода карьера в эксплуатацию.
4. Поэтапная разработка месторождения: 4.1. Открытая геотехнология с выделением этапов, их границ по глубине, временно законсервированных запасов и бортов карьера. 4.2. Переход на подземную разработку месторождения с полной изоляцией внутришахтных выработок и коммуникаций и внутрикарьерного пространства. 4.3. Комбинированная открыто-подземная разработка с одновременным или последовательным ведением открытых и подземных горных работ.	Формирование поэтапных схем развития транспортных коммуникаций; Периодическая реконструкция транспортной системы карьера с переносом транспортных коммуникаций с временно нерабочих бортов на постоянные; Вскрытие новых, в том числе глубоких, горизонтов; Перенос перегрузочных пунктов; Использование карьерного транспорта для доставки на поверхность горной массы из подземных горных выработок.

Особенности ведения горных работ на глубоких карьерах состоят в том, что на какой бы стадии по глубине карьера горные работы ни находились, всегда остаются открытыми и требуют исследования, планирования, проектирования и практической реализации два главных вопроса, основанные на опыте работы карьеров большой глубины и производительности:

- следует ли пересматривать принятую в проекте предельную глубину карьера;
- требуется ли коренной пересмотр действующей технологии горных работ при достигнутой глубине карьера или достаточно совершенствования параметров системы разработки, принятой схемы вскрытия, порядка формирования рабочей зоны глубоких горизонтов, транспортной системы карьера и основных технологических процессов добычи и переработки минерального сырья.

При любом варианте ответа на первые два вопроса требуют принятия технологических решений следующие особенности ведения горных работ на карьерах, особенно при их доработке до предельной глубины:

- особенности погрузочно-транспортных работ в прибортовой зоне с учетом обеспечения устойчивости бортов и сохранности законтурного массива и безопасности расположенных на прибортовой территории зданий и сооружений;

- особенности селективной разработки и усреднения при формировании грузопотоков горной массы;

- обеспечение эффективной модернизации парка горных машин, параметров и организации их эксплуатации;

- постоянный мониторинг качества добываемого сырья, параметров и показателей основных технологических процессов с целью своевременного на основе технологического аудита применения и реализации организационно-технических управляющих воздействий.

Главный вывод из табл. 1: важнейшей задачей принятия и реализации проектных решений на всех этапах освоения глубокозалегающих запасов месторождения является исследование и реализация переходных процессов в технике и технологии горно-обогачительного производства.

Наиболее значимые научные, технологические и организационно-технические вопросы, решаемые при проектировании и разработке сложноструктурных месторождений большой глубины, требующие исследования переходных процессов:

1. Оценка объема и качества запасов, принятие решения о целесообразности их комплексного освоения.

2. Обоснование способа разработки глубокозалегающего месторождения и возможности (целесообразности) перехода от открытого к подземному или комбинированному способу.

3. Обоснование границ карьера, его глубины, углов откоса бортов, последовательность развития рабочей зоны, выделение этапов разработки.

4. Формирование транспортной системы карьера во взаимосвязи с развитием карьерного пространства и его рабочей зоны, применение новых видов, технических средств и схем транспорта с заменой действующих, но чаще в дополнение к ним.

5. Поэтапная разработка месторождений, формирование временно нерабочих бортов карьеров и последующая их разработка с использованием специальных технологий и технических средств взрывания, экскавации, транспорта.

6. Вскрытие новых горизонтов, в том числе с возможным изменением физико-механических свойств и вещественного состава слагающих их горных пород.

7. Разработка месторождений сложного геологического строения залежей основного полезного ископаемого при наличии попутных полезных компонентов, значительной изменчивости их содержания и других свойств, требующих селективной разработки, усреднения и периодического изменения параметров систем разработки, рудоподготовки и обогащения.

8. Переходные процессы, связанные с изменением физико-механических свойств многолетнемерзлых горных пород (фазовые переходы при изменении температуры воздуха от +40°C до -60°C), в том числе в бортах карьеров и в стволах подземных рудников.

При решении транспортной проблемы глубоких карьеров следует учитывать основные современные тенденции совершенствования технологических процессов на период до 2025 – 2030 гг.:

– экскавация: рост единичной мощности мехлопат связан прежде всего с увеличением емкости ковша экскаватора до 12 – 50 м³. Увеличение доли гидравлических экскаваторов, формирование специализированных экскаваторных комплексов, роботизация операций. Возобновление выпуска экскаваторов с ковшом активного действия (ЭКГ-5В);

– транспортирование: применение железнодорожного транспорта в основном в качестве сборочного звена. Повышение грузоподъемности автотранспорта до 350 – 400 т пропорционально увеличивающейся емкости ковша карьерных экскаваторов, сокращение высоты подъема, возрастание роли циклично-поточной технологии, ввод крутонаклонных конвейеров и специализированных транспортных средств с дистанционным управлением. Для сложных климатических и горнотехнических условий использование гусеничных автосамосвалов грузоподъемностью 20 – 40 т и более;

– отвалообразование: стабилизация объемов экскаваторного отвалообразования. Рост доли автоотвалов в период строительства новых карьеров и доли внутренних отвалов при их доработке.

Безусловно, требует дополнительного исследования целесообразность изменения параметров автомобильно-железнодорожного транспорта. Здесь возможны два основных пути решения проблемы интенсификации горных работ в нижней зоне карьеров:

– или существенное сокращение высоты подъема и расстояний транспортирования горной массы из забоев до перегрузочных пунктов на железнодорожный транспорт, однако здесь есть одно труднопреодолимое препятствие: применение экскаваторов с большой вместимостью ковша (30 – 40 м³) на погрузке в забое верхних горизонтов и на перегрузочных пунктах сдерживается вместимостью погонного метра думпкаров;

– или применение на нижних горизонтах более мощных погрузочно-транспортных (экскаваторно-автомобильных) комплексов в отличие от существовавшего многие годы мнения, что этого делать не следует из-за необходимости создания более широких рабочих площадок и автомобильных съездов.

Перспективы технологического развития при разработке глубокозалегающих месторождений связаны с решением следующих задач:

– реконструкцией границ открытой разработки с одновременным увеличением глубины разработки и изменением технологии разработки;

– вскрытием глубоких горизонтов карьеров с использованием крутых углов откоса уступов и бортов карьеров, с применением специальной горной и транспортной техники (относительно малые габариты машин; повышенные до 20 – 30 % уклоны транспортных коммуникаций; расширение и возобновление использования крутонаклонных и ленточных конвейеров – ЦПТ);

– переходом на подземные горные работы с возможным использованием транспортного комплекса открытых горных работ, как это предусматривается при доработке Сарбайского железорудного месторождения;

– комбинированной разработкой глубоких горизонтов с одновременным ведением открытых и подземных горных работ с различными вариантами взаимного использования транспортных коммуникаций и выработанного пространства для складирования вскрышных пород.

Об особенностях работы погрузочно-транспортных комплексов можно судить на основании данных табл. 2 – 4.

Таблица 2

Мощность горно-транспортного оборудования на 8 крупнейших ГОКах России

Показатель	1990 г.	2000 г.	2007 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.
Вместимость ковша среднесписочного экскаватора, м ³	7,7	8,3	8,94	9,12	9,4	9,7
Средняя грузоподъемность среднесписочного автосамосвала, т	87,6	98,4	117,9*	121,7*	125,8	127,4
Удельный вес циклично-поточной технологии (проценты) в добыче железной руды	16,7	7,8	7,7	13,8	8,0	6,3

* Без учета Качканарского ГОКа

Таблица 3

Добыча руды и средневзвешенная глубина карьеров на крупнейших ГОКах России (Костомукшский, Оленегорский, Ковдорский, Лебединский, Михайловский, Стойленский, Качканарский и Коршуновский)

Показатель	1990 г.	2000 г.	2007 г.	2010 г.	2012 г.	2013 г.
Суммарная добыча руды открытым способом на крупнейших ГОКах, млн. т	212,1	198,5	249,7	238,9	265,6	260,1
То же в процентах ко всей открытой добыче	90,4	95,2	95,7	96,0	95,2	89,9
Средневзвешенная (по добыче) глубина карьеров, м	178	241	276,2	285,7	290,4	295,5
Среднегодовой прирост глубины за предшествующий период, м	4,8	3,0	2,5	3,4	5,3	5,1

Таблица 4

Технические показатели работы транспорта Михайловского ГОКа

Показатель	1990 г.	2000 г.	2013 г.
Добыча сырой руды, млн. т	38,0	41,3	49,4
Объем вскрыши, млн. м ³	26,5	16,4	25,9
Глубина карьера на замкнутом контуре, м	195	265	350
Объем перевозок из забоев, млн. т	97,9	83,0	123,8
в том числе ж.-д. транспортом	30,4	44,3	36,9
автотранспортом,	55,8	55,7	63,1
конвейерным транспортом,	11,6	-	-
гидротранспортом,	2,2	-	-
Объем повторных перевозок, млн. т	45,1	37,9	71,0
Объем перевозок автотранспортом, млн. т	56,6	63,2	101,0
Средняя грузоподъемность автосамосвала, т	84,3	78,5	109,3
Средневзвешенное расстояние перевозок, км	2,17	2,08	2,1
Производительность автосамосвала на 1 т грузоподъемности, т	9,7	15,8	15,2
Объем перевозок железнодорожным транспортом, млн.т	98	68,9	101,3
Средневзвешенное расстояние перевозок, км	9,7	12,2	14,5

Заключение

1. В истории освоения каждого месторождения полезных ископаемых неизменно выделяются три основных периода: разведка, проектирование и разработка; в каждом из них, в свою очередь, можно выделить несколько этапов принятия технических, технологических и иных решений, обусловленных нарастанием геологической информации и изменением горнотехнических условий по мере роста глубины извлекаемых запасов, достижений технического прогресса в горнообогатительном производстве и смежных отраслях, с учетом мировых тенденций в производстве и потреблении минерального сырья и других внешних факторов.

2. За сравнительно короткий исторический период послевоенного развития горного производства можно выделить несколько этапов развития технологий и методологии освоения недр России и стран СНГ, характеризующихся особенностями развития горного дела и основными направлениями научных исследований.

3. К числу актуальных направлений постановки и решения проблем освоения недр на современном этапе следует отнести исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и рудоподготовки минерального сырья с целью выбора оптимальной стратегии разработки глубокозалегающих месторождений.