

Российская академия наук
Уральское отделение
Институт горного дела

В.Л. Яковлев

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ –
НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ
МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
ГЕОРЕСУРСОВ**

Екатеринбург
2019

Рецензенты:

академик РАН **В.А. Коротеев**,
профессор, доктор технических наук **В.А. Галкин**,
профессор, доктор технических наук **Ю.И. Лель**

Яковлев В.Л.

Я47 Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург, УрО РАН, 2019 – 284 с.

ISBN 978-5-7691-2532-4

В монографии дано обоснование развития программно-целевого метода исследования проблем освоения недр, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы» и методов учета их закономерностей при проектировании и разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых.

Обоснованы методы и этапы адаптации горнотехнических систем горных предприятий на основе исследования и систематизации основных факторов, определяющих изменение горнотехнических условий развития горных работ, предложены методы их учета при переходе на уточненные параметры основных технологических процессов горного производства.

Приведены результаты исследований по развитию рабочей зоны карьеров во взаимосвязи с формированием транспортных систем, горно-технологических систем при подземной разработке глубокозалегающих месторождений, технологических схем рудоподготовки и управления качеством рудного сырья, системы обеспечения безопасности для угледобывающих предприятий.

Книга предназначена для специалистов в области горного дела и широкого круга читателей. Она может быть использована в качестве справочника для руководителей предприятий, предпринимателей, специалистов управленческих структур, а также в качестве учебного пособия для студентов, магистрантов и аспирантов.

УДК [622.27 : 533.042]: 168

ISBN 978-5-7691-2532-4

© Уральское отделение РАН, 2019
© Институт горного дела УрО РАН, 2019
© Яковлев В.Л., 2019
© Издательство АМБ, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	7
Глава 1. Этапы осознания необходимости исследования переходных процессов и методические подходы к их учету при проектировании и разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений	11
1.1. Этапы осознания необходимости исследования переходных процессов	11
1.2. Этапы формирования основ эффективного освоения месторождений и параметров развития горных предприятий	25
1.3. Анализ опыта решения проблем формирования основ эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых	36
1.4. Обоснование методов и этапов адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений	42
Список литературы по главе 1	47
Глава 2. Обоснование параметров переходных процессов при вскрытии и формировании рабочей зоны глубоких карьеров	55
2.1. Исследование условий и эффективности разработки месторождений с применением крутых уклонов	55
2.1.1. Определение объемов дополнительного развоза бортов для размещения вскрывающих выработок	56
2.1.2. Определение глубины перехода вскрывающих выработок на крутые уклоны	60
2.1.3. Технологические схемы проходческих и перегрузочных работ при применении крутонаклонных вскрывающих выработок	69
2.1.3.1. Способ проведения крутых траншей с применением гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата»	69
2.1.3.2. Внутрибортвой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы	72
2.1.4. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров с применением крутонаклонных временно нерабочих бортов	73
2.2. Особенности и этапность формирования рабочей зоны карьеров, в том числе формирование и расконсервация временно нерабочих участков бортов при разработке глубокозалегающих месторождений	76
2.3. Ресурсосберегающий способ вскрытия глубоких горизонтов при применении внутреннего отвалообразования в карьерах	89
Выводы по главе 2	93
Список литературы по главе 2	95

Глава 3. Выбор геотехнологической стратегии освоения переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений	97
3.1. Методологический подход к обоснованию геотехнологической стратегии освоения переходных зон	97
3.2. Систематизация типов переходных зон и вариантов подземной геотехнологии их освоения	99
3.3. Конструирование и сравнительная оценка вариантов систем разработки переходных зон и основных запасов.....	107
3.4. Экономико-математическое моделирование подземной геотехнологии освоения переходных зон и основных запасов	113
Выводы по главе 3	119
Список литературы по главе 3	121
Глава 4. Обоснование методов и этапов адаптации транспортных систем карьеров.....	122
4.1. Обоснование методов и этапов адаптации транспортных систем карьеров с автомобильным транспортом.....	122
4.2. Исследование переходных процессов формирования транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений с использованием автомобильно-конвейерного транспорта	136
4.3. Исследование переходных процессов формирования транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений с использованием автомобильного транспорта.....	145
4.3.1. При разработке месторождений с большими размерами в плане.....	145
4.3.2. При разработке месторождений с малыми размерами в плане	149
4.4. Особенности решения транспортной проблемы алмазородных карьеров Якутии	153
Выводы по главе 4.....	163
Список литературы по главе 4.....	166
Глава 5. Особенности переходных процессов в инновационных технологиях совершенствования буровзрывных работ.....	170
5.1. Выявление факторов, определяющих переходную динамику	170
5.2. Систематизация переходных процессов буровзрывных работ.....	174
5.3. Совершенствование методик расчета параметров буровзрывных работ с учетом прочностных свойств горных пород.....	179
Выводы по главе 5.....	189
Список литературы по главе 5.....	192

Глава 6. Адаптация технологической схемы рудоподготовки в карьере как основа управления качеством минерального сырья	194
6.1. Систематизация и анализ горно-геологических условий отработки запасов железных руд, основные тенденции управления качеством минерального сырья	194
6.2. Адаптация горно-технологических систем при управлении качеством минерального сырья.....	199
6.3. Моделирование засоренности известняков и глинистого материала с применением блочного моделирования.....	206
6.4. Текущее планирование горных работ в режиме управления качеством титаномагнетитовой руды на примере ОАО «ЕВРАЗ КГОК».....	210
6.5. Моделирование качественных показателей Серовского месторождения комплексных руд.....	212
Выводы по главе 6.....	221
Список литературы по главе 6.....	225
Глава 7. Формирование системы управления безопасностью производства угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов.....	227
7.1. Производственный конфликт и его влияние на системы обеспечения безопасности производства	231
7.2. Основные виды рисков. Производственный риск.....	233
7.3. Принципы, условия и требования управления производственным риском .	240
7.4. Понятие опасной производственной ситуации и ее роль в системе обеспечения безопасности производства.....	246
7.5. Реализация модели управления производственным риском.....	251
Выводы по главе 7	264
Список литературы по главе 7.....	266
Заключение.....	269

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленное научно-технической общественности исследование является продолжением изданной в 2018 году монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» (Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В.), в которой обоснована необходимость новых методологических подходов к решению проблем освоения недр и изложены результаты исследований коллектива научных сотрудников ИГД УрО РАН, специалистов по открытой, подземной и комбинированной геотехнологии, разрушению горных пород, управлению качеством минерального сырья, формированию транспортных систем карьеров и геотехники.

Исследование переходных процессов является новым направлением развития методологии инновационного базиса стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья, оно выполняется по конкурсному проекту программы фундаментальных исследований УрО РАН.

Автор монографии признателен д.т.н., проф. С.В. Корнилку за творческий вклад в обоснование методологического подхода к исследованию факторов, влияющих на формирование и разработку инновационных технологий освоения месторождений с учетом переходных процессов, изложенный в совместных с исполнителями проекта публикациях, а также научным сотрудникам, принимавшим участие в проведении исследований по конкурсному проекту Программы фундаментальных исследований УрО РАН: проект 15-11-5-7 «Исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и рудоподготовки минерального сырья» и проект 18-5-5-10 «Обоснование методов и этапов адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений».

В исследованиях и написании отдельных разделов монографии принимали участие научные сотрудники ИГД УрО РАН:

Глава 2: к.т.н. Яковлев А.В., д.т.н. Саканцев Г.Г., Переход Т.М.

Глава 3: д.т.н. Соколов И.В., к.т.н. Антипин Ю.Г., к.т.н. Смирнов А.А., к.т.н. Никитин И.В.

Глава 4: к.т.н. Журавлев А.Г., к.т.н. Бахтурин Ю.А., к.т.н. Берсенев В.А., к.т.н. Кармаев Г.Д.

Глава 5: д.т.н. Корнилков С.В., к.т.н. Жариков С.Н., к.т.н. Реготунов А.С., к.т.н. Сухов Р.И.

Глава 6: к.т.н. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Тимохин А.В.

Глава 7: д.т.н. И.Л. Кравчук, к.т.н. Е.М. Неволлина.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными горно-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20 – 25 и более лет) в пространстве и во времени и характеризующимися как объекты исследования с большим массивом нарастающей информации – геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящимися в сложной взаимосвязи, что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации решений на основе исследования переходных процессов с целью адаптации горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования.

Особо сложно осваивать глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, когда в связи с нарастанием информации о геологических параметрах залежей полезных ископаемых и вмещающих пород и с ростом глубины требуется уточнять кондиции и пересчитывать запасы, изменять границы поэтапной разработки, переходить на новые технологии добычи и переработки минерального сырья.

Новый подход необходим для обеспечения устойчивого развития горного производства на основе исследования переходных процессов и учета закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и рудоподготовки минерального сырья. Переходными принято называть процессы, связанные с выполнением совокупности технологических, технических и организационных действий при изменении границ извлекаемых запасов, способа их добычи и переработки, параметров технологий, заменой технических средств, реконструкцией предприятия, модернизацией оборудования.

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 горно-обогатительном производстве и смежных отраслях, с учетом мировых тенденций в производстве и потреблении минерального сырья и других внешних факторов.

Специфика освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что их разработка продолжается десятки лет, как правило, начинается с открытой геотехнологии в условиях непрерывного роста глубины рабочей зоны карьера, нарастанием геологической, горнотехнической и технологической информации, требующих безусловного выделения этапов формирования карьерного пространства, изменения параметров систем разработки, формирования транспортной системы карьера путем применения новых видов транспорта и т.д., то есть практически пересмотра большинства принятых проектных решений, уточнения глубины карьера и, как правило, перехода к подземной или комбинированной разработке месторождения.

Переходные процессы при разработке месторождений полезных ископаемых возникают в период реконструкции горных предприятий, диверсификации производства, освоения новых технологий, перестройки системы управления, изменения форм организации труда и других преобразованиях.

Основанием для осуществления переходных процессов могут быть:

- изменения в структуре, элементах, связях и параметрах производственной системы;
- внедрение новой техники и технологии;
- освоение нововведений, компенсация внешних воздействий и преодоление внутренних диспропорций в организации или ее подразделениях;
- переход на выпуск новой продукции, перестройка системы управления, изменения функций управления и их содержания;
- изменения в производственных процессах и др.

Необходимость исследования переходных процессов в технологии добычи и переработки полезных ископаемых на отдельных этапах разработки месторождений, технологических процессах давно начала назреть, и в отдельных разделах горной науки и производства находились решения адаптации технологии к изменяющимся условиям горно-обогатительного производства, но сегодня это становится актуальной научной проблемой.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ, что требует, наряду с изменением горнотехнических условий, периодического перехода на новые параметры техники и технологии с целью адаптации горнотехнической системы к изменяющимся условиям ее функционирования.

Исследование переходных процессов, установление причин их возникновения, понимание сущности происходящих изменений и закономерностей их развития в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях, обоснование методов и этапов адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений является основой создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока их отработки.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным и может использоваться 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.

Новые методологические направления в решении проблем освоения недр являются результатом многолетних исследований, основанных на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности. Но этого еще недостаточно. Требуется изучить многолетний опыт развития не только техники и технологии горного производства, но и технического прогресса в смежных областях, при этом, не только в области наук о Земле, но и в других, достижения которых содействуют техническому прогрессу в горнодобывающих отраслях и, естественно, в теории и практике технологических процессов горно-обогатительного и металлургического производств, а также ряда отраслей горного машиностроения.

Что касается собственно наук о Земле, то успешное, то есть экономически эффективное, технологически и экологически безопасное изучение возможно лишь на основе достоверной геологической информации по параметрам залежей полезных ископаемых, о наличии, помимо основного, попутных полезных компонентов, физико-механических свойствах залежи и вмещающих горных пород, при этом главным является знание свойств и параметров залежей и закономерностей их изменения в связи с нарастанием геологической и горнотехнической информации по мере развития горных работ в процессе разработки месторождения.

Направления опережающего развития в науке, технике, технологии и организации поиска, разведки, добычи и переработки недровых запасов полезных ископаемых – важнейшая проблема стратегии освоения недр.

В качестве подтверждения актуальности исследования переходных процессов следует отметить, что на Общем собрании членов РАН (г. Москва, 13 – 14 ноября 2018 г.) была проведена научная сессия «Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации», на которой были заслушаны и обсуждены доклады председателей Советов семи приоритетов научно-технологического развития, при этом в 4 приоритетах ключевым являлось слово «переход».

Во всех докладах председателей Советов и содокладах членов РАН нашли отражение три основных вопроса: оценка сложившегося состояния, обоснование необходимости исследований и разработки комплекса научных и организационных мероприятий по переходу к новому этапу научно-технологического развития в выделенных Президентом и Правительством РФ приоритетных направлениях и достижению по ним за 6-летний период с 2019 г. к 2024 г. 4 – 5-го мест в рейтинге ведущих стран мира по критериальным параметрам оценки научно-технологического уровня развития.

ГЛАВА 1. ЭТАПЫ ОСОЗНАНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИХ УЧЕТУ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1. Этапы осознания необходимости исследования переходных процессов

Институт Уралгипрошахт, где автор в 1956 г. начал свою трудовую деятельность, помимо предприятий угольной промышленности Урала и Казахстана, с 1957 г. стал и генпроектировщиком предприятий асбестовой промышленности. За 6 лет работы в институте автор приобрел неоценимый опыт проектирования с элементами исследования вскрытия и систем разработки месторождений, карьерного транспорта, подсчета запасов, календарного планирования горных работ, исследования режимов добычных и вскрышных работ, обоснования производственной мощности, потерь и разубоживания, устойчивости бортов карьеров, дренажа и водоотлива, сметно-финансовых расчетов, особенностей выполнения проектных заданий, технических проектов и рабочих чертежей, организации проектного дела и т.п.

Огромную роль в становлении горного инженера-проектировщика, а в дальнейшем и научного работника сыграло участие в проектировании реконструкции карьеров треста «Союзасбест». Здесь важным явились три обстоятельства. Во-первых, решение широкого круга инженерно-технических задач по выбору схем вскрытия карьеров Южного, Центрального и Северного рудоуправлений, обоснованию их производственной мощности, порядка разработки, планирования горных работ на 5 лет по годам и далее по пятилеткам до конца отработки; переход с колеи 1000 мм на нормальную колею 1524 мм железнодорожного транспорта и т.п. Во-вторых, подробное ознакомление с состоянием горных работ и всех процессов добычи и обогащения асбестовых руд нескольких текстурных разновидностей и сочетаний различных сортов асбестового волокна.

Необходимость исследования переходных процессов в технологии добычи и переработки полезных ископаемых на отдельных этапах, тех-

нологических процессах давно начала назреть, и в отдельных разделах горной науки и производства находились решения адаптации технологии к изменяющимся условиям разработки месторождений, но сегодня это становится актуальной проблемой.

История понимания автором монографии необходимости исследования переходных процессов при освоении запасов минерального сырья берет свое начало с исследований по комбинированному транспорту [1] и выполнения в аспирантуре (1962 – 1966 гг.) ИГД УФАН СССР диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование и выбор оптимальных режимов горнотранспортных работ рудных карьеров на ЭЦВМ», в которой на основе опыта проектирования открытой разработки месторождений комбината «Ураласбест» (1956 – 1962 гг.) дано обоснование оптимального плана снабжения обогатительных фабрик комбината «Ураласбест» рудой соответствующего качества из залежей различного состава рудной массы по содержанию общего и длинноволокнистого асбеста из карьеров, основанного на том, что, хотя в залежах южного карьера имелась руда для производства текстильных сортов, вся добытая рудная масса доставлялась на ОФ №5, где технология обогащения не предусматривала выпуск асбестового волокна текстильных сортов.

Использование экономико-математической модели для обоснования оптимального распределения руды с залежей Северного, Центрального и Южного рудоуправлений с учетом системы установленных зависимостей выхода товарного асбеста на каждой из 4 обогатительных фабрик, из которых только на одной (№4) технология предусматривала выпуск текстильных сортов асбеста, товарная цена которых в десятки раз превосходила цену рядовых (3 – 6) сортов, что позволило доказать возможность получения экономического эффекта в размере 3,4% от всей валовой продукции комбината, что по ценам 60-х годов XX века составило 4,3 млн руб. в год [2]. Это был первый опыт, позволивший в дальнейшем обоснование перехода от поставки руды только на фабрику №5 с выделением части добываемой рудной массы Южного рудоуправления для поставки на ОФ №4 считать примером эффективности применения фактора переходных процессов в стратегии освоения запасов глубокозалегающего сложноструктурного Баженовского асбестового месторождения.

Выполненный в ИГД МЧМ СССР в период с 1970-го по 1988-й годы [3-19] комплекс исследований дал возможность разработать методику выбора вида карьерного транспорта, в основе которой заложена оптимизация параметров технологических схем транспорта (рис. 1), периодического поэтапного перехода параметров транспортной системы карьера с целью адаптации к изменяющимся условиям в динамике развития горных работ при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, а изложенные в них методические подходы легли в основу монографии «Научные основы проектирования карьерного транспорта», изданной в 1972 г. [7], и монографии «Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров» [21].

При этом в публикациях, приведенных в списке литературы по главе 1, изложены вопросы выбора вида транспорта при проектировании карьеров с учетом взаимосвязей с другими проблемами:

1. Принципы определения момента перехода на новый вид транспорта при разработке глубоких карьеров [6].

2. Методические основы перехода на комбинированные виды транспорта [8].

3. Определение момента перехода на новый вид транспорта с использованием модели совмещенных функций [9].

4. Исследование целесообразности и рациональные сроки перевода Сарбайского карьера на автомобильно-конвейерный транспорт [10].

5. Продолжительность перехода на новые виды транспорта в глубоких карьерах [11].

6. Особенности системного подхода к оптимизации параметров транспортных систем рудных карьеров [12].

7. Особенности формирования транспортной системы при реконструкции глубоких карьеров [13].

8. Необходимость дифференцированного учета горнотехнических условий при проектировании карьерного транспорта [14].

9. Принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров [15].

10. Особенности транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьеров [17].

11. Методы учета взаимосвязи решения задач выбора вида транспорта и определения производственной мощности глубоких карьеров [18].

12. Обоснование стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров [19], разработки месторождений большой глубины и производительности с использованием ключевых слов «переход», «системность», «учет горнотехнических условий», «принципы формирования», которые войдут в основу нового научного направления «переходные процессы».

13. Исследование закономерностей поэтапного развития горных работ при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых [16].

14. Новые подходы к поэтапному проектированию и отработке глубоких карьеров [37].

Дальнейшие исследования особенностей методологического подхода к формированию транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений изложены более подробно в публикациях 2016 г. [61] и 2018 г. [71].

Научные основы проектирования карьерного транспорта более подробно изложены в монографии [7], а с ее использованием – теория и практика выбора видов транспорта на примере железорудных комбинатов России, Украины и Казахстана рассмотрены в монографии [21].

Представленная в работе [9] методика определения момента перехода на новый вид транспорта с использованием графоаналитического метода, сущность которого пояснена на примере определения момента перехода с автомобильно-железнодорожного на автомобильно-конвейерно-железнодорожный транспорт руды в глубинной зоне Сарбайского карьера (рис. 2), явилась, по существу, одним из первых результатов исследований, положивших начало развитию научного направления, связанного с исследованием переходных процессов при поэтапном развитии техники и технологии разработки месторождений карьерами большой глубины и производительности.

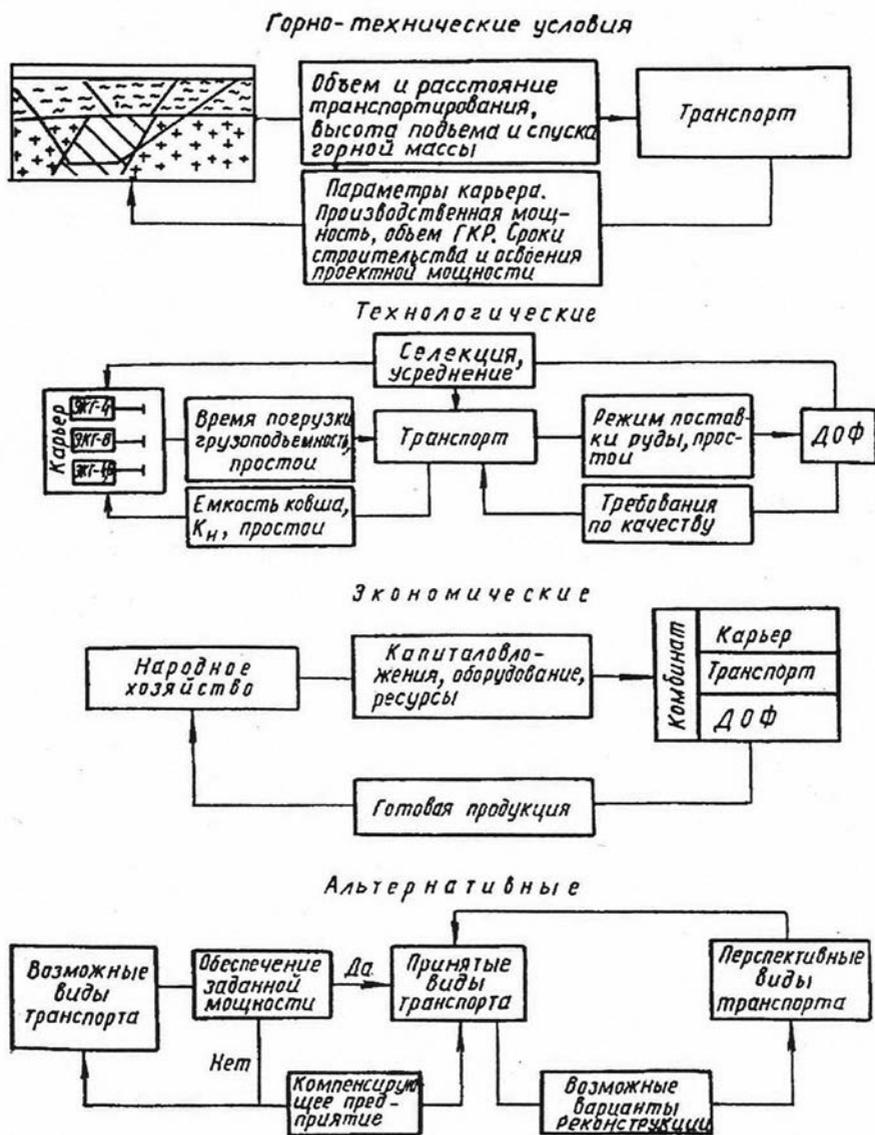


Рисунок 1.1 – Основные взаимосвязи транспорта горно-обогатительного комбината

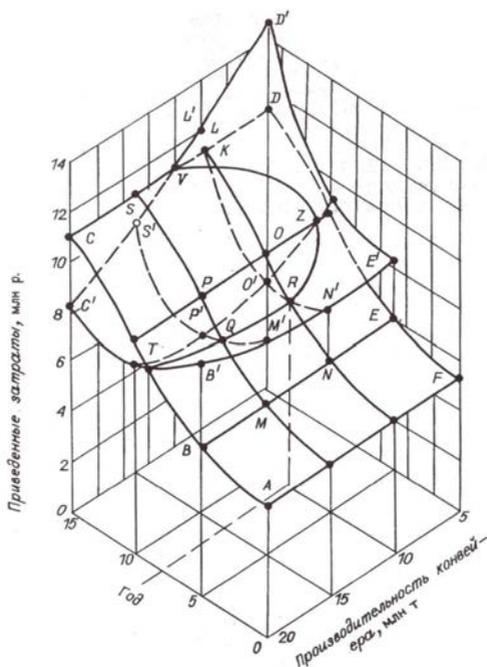


Рисунок 1.2 – Графоаналитический метод определения момента перехода на новый вид транспорта

Поверхность ABCDEF в рассмотренном примере соответствует приведенным затратам при использовании автомобильно-железнодорожного транспорта.

От производительности конвейера затраты по данному варианту, естественно, не зависят, поэтому поверхность имеет изгиб только по годам эксплуатации, обусловленный в основном увеличением глубины карьера и дальности перевозок автотранспортом до перегрузочных пунктов на железнодорожный транспорт. Особенно резкий рост приведенных затрат наблюдался в период 1985 – 1990 гг., когда перегрузка осуществлялась в стационарные бункера, расположенные на отметках –20 и 80 м, в то время как дно карьера достигает отметки –240 м.

Затраты по варианту автомобильно-конвейерно-железнодорожного транспорта представлены поверхностью B'C'D'E', которая отражает изменение затрат как по годам эксплуатации, так и в зависимости от изменения производительности дробильно-конвейерного комплекса.

Закономерности изменения затрат по сравниваемым технологическим схемам транспорта представлены в двух вертикальных взаимно перпендикулярных плоскостях: плоскость 5-го от начала рассматриваемого периода года $BB'EE'$ и плоскость производительности конвейерного комплекса в 15 млн т $MPSS'P'M'$.

В плоскости $BB'EE'$ линия $BMME$ представляет собой приведенные затраты по варианту автомобильно-железнодорожного транспорта в 5-м году. Линия $B'M'N'E$ отражает изменение приведенных затрат в целом по транспорту производительностью 20 млн т при изменении доли руды, перевозимой автомобильно-конвейерно-железнодорожным транспортом, от 5 до 20 млн т. Разница между указанными линиями отражает превышение приведенных затрат варианта автомобильно-конвейерного транспорта над автомобильно-железнодорожным. Так, отрезок NN' , равный в масштабе чертежа 2,0 млн р., свидетельствует о нецелесообразности введения в эксплуатацию конвейерного комплекса на 10 млн т сырой руды в 5-м году. При других объемах на конвейерный транспорт его эффективность в этом году будет еще ниже. По годам эксплуатации приведенные затраты по варианту автомобильно-железнодорожного транспорта изменяются по линии MPS , а по варианту автомобильно-конвейерного при 15,0 млн т руды на конвейер – по линии $M'P'S'$. Точка пересечения этих двух линий свидетельствует о равенстве вариантов по приведенным затратам в соответствующий год эксплуатации.

В целом, граница области эффективного применения автомобильно-конвейерного транспорта в рассматриваемых условиях ограничена в пространстве чертежа линией $VKZRQT$. Согласно этой линии, эффективный срок ввода в эксплуатацию автомобильно-конвейерного комплекса на 10 млн т – 8-й год от начала рассматриваемого периода. К 10 – 12 годам его производительность могла быть доведена до 20 млн т, то есть вся руда может эффективно транспортироваться конвейером.

Таким образом, применение объемной модели совмещенных функций приведенных затрат позволяет в сочетании с использованием методов поиска оптимальной совокупности параметров сравниваемых технологических схем транспорта определять момент перехода на новые технологические схемы транспорта, а также находить наилучшее распределение объемов перевозок между действующим и вновь вводимым видами транспорта.

Анализ приведенных примеров свидетельствует о том, что учет изменяющихся условий эксплуатации действующего горного предприятия с открытым способом разработки месторождения и неодинакового для отдельных видов и схем транспорта изменения эксплуатационных показателей работы, в сочетании с учетом неравномерности технического процесса, а также изменений в смежных звеньях системы приводят к необходимости периодической реконструкции карьера с переходом к новой схеме транспорта с использованием новых технических средств и организации горно-обогажительного производства.

Изменяющиеся в процессе разработки месторождения горнотехнические условия оказывают определяющее значение на изменение параметров горнотехнической системы, как на стадии открытой разработки, так и при переходе к подземной, а чаще комбинированной разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений.

Учитывая, что каждое месторождение твердых полезных ископаемых уникально, а запасы его ограничены и невозобновляемы, для принятия решений о целесообразности и способах его разработки необходима следующая информация:

- утвержденная правительством стратегия развития и освоения минерально-сырьевой базы страны на предстоящие 15 – 30 лет и перспективные 50 – 75 лет с поэтапной оценкой и возможным уточнением или пересмотром основных ее положений с учетом мировых тенденций добычи и потребления стратегических видов минерального сырья и прогноза приоритетных направлений развития смежных отраслей промышленности;

- научно обоснованные методики геолого-технологического-эколого-экономической оценки запасов основных полезных ископаемых и попутных компонентов месторождений с учетом природных, горно-геологических, физико-географических, социально-экономических условий и состояния инфраструктуры региона их расположения.

Особенности освоения месторождений Арктики и прилегающих к арктической зоне регионов, а также Северо-Востоку России, в том числе субъектам Уральского и Дальневосточного федеральных округов, где предстоит освоение ранее не востребованных, вследствие отсутствия инфраструктуры и низкого содержания основных и попутных полезных

ископаемых, месторождений минерального сырья, отражены в представленных в списке литературы по главе 1 публикациях:

– основные положения разработки месторождений Севера и стратегии развития горного производства зоны многолетней мерзлоты [20, 23, 25, 28, 29];

– технологии разработки глубоких горизонтов карьеров в многолетнемерзлых породах с крутыми бортами, в том числе алмазодобывающих карьеров [30, 31, 70, 72, 73].

Естественно, стратегии развития минерально-сырьевой базы этих регионов следует уделить особое внимание, тем более, там имеются запасы весьма ценных, ныне импортируемых видов минерального сырья.

Особое внимание в публикациях уделено методологическим особенностям освоения недр, основанным на принципах системности, комплексности, междисциплинарности, инновационной направленности [54, 57, 66], а также посвященных исследованию переходных процессов [59, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 72, 77].

В публикациях нашли также отражение вопросы развития организационной структуры угледобывающих предприятий, требования и система обеспечения безопасности в условиях переходных процессов [75, 78].

Из приведенного списка литературы, включающего публикации авторов монографии, в том числе с соавторами, следует выделить монографии, в которых содержатся методические материалы, опыт проектирования и строительства горных предприятий, посвященные стратегии освоения недр [7, 21, 26, 39, 43], а также монографию «Горные науки. Освоение и сохранение недр» [35], в которой представлена современная классификация горных наук и основные приоритетные направления научных исследований в составе наук о Земле.

При создании инновационных технологий добычи и переработки минерального сырья на действующих горных предприятиях и при освоении новых месторождений необходимо учитывать, что 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 горно-обогатительном производстве и смежных отраслях, с учетом мировых тенденций в производстве и потреблении минерального сырья и других внешних факторов.

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.

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.

Специфика освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что их разработка продолжается десятки лет, как правило, начинается с открытой геотехнологии, 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 видов транспорта и т.д., то есть практически пересмотра большинства принятых проектных решений, уточнения глубины карьера и, как правило, перехода к подземной или комбинированной разработке месторождения.

Переходные процессы при разработке месторождений полезных ископаемых возникают в период реконструкции горных предприятий, диверсификации производства, освоения новых технологий, перестройки системы управления, изменения форм организации труда и других преобразований.

Основанием для осуществления переходных процессов могут быть:

- изменения в структуре, элементах, связях и параметрах производственной системы;
- внедрение новой техники и технологии;

- освоение нововведений, компенсация внешних воздействий и преодоление внутренних диспропорций в организации или ее подразделениях;
- переход на выпуск новой продукции, перестройка системы управления, изменения функций управления и их содержания;
- изменения в производственном процессе и т.д.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ, что требует, наряду с изменением горнотехнических условий, периодического перехода на новые параметры техники и технологии с целью адаптации горнотехнической системы к изменяющимся условиям функционирования горно-обогатительного производства.

Для реализации подхода, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, необходима оценка современного состояния конкретного горнодобывающего предприятия, в том числе структуры, системы управления, параметров технологии всех звеньев горнотехнической системы, количественной и качественной оценки вскрытых, добываемых и перспективных запасов, периодической переоценки запасов, а также соответствия действующих на момент оценки параметров систем разработки наилучшему использованию транспортных коммуникаций, соответствия параметров отдельных технологических процессов: разрушения, погрузки, транспортирования, селекции и усреднения, рудоподготовки и обогащения сложившимся условиям их функционирования. Также необходима оценка запасов нижележащих блоков залежей, уточнение бортового содержания с учетом качества основного и попутного полезных ископаемых, корректировка границ по глубине горных работ и формирование карьерного пространства с учетом устойчивости бортов карьеров, выбор способа вскрытия новых горизонтов, уточнение объемов добычных и вскрышных работ с выбором оптимального режима горных работ, оценка соответствия машин и механизмов всех действующих технологических процессов сформировавшимся и перспективным условиям их эксплуатации и т.д. Результат: долгосрочная стратегия с учетом периодического перехода на новые технологии.

Помимо системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности новизна методологического подхода заключается в использовании наполненных новым содержанием ключевых слов: переходные процессы, опережающее развитие, формирование, адаптация, нарастание информации, изменяющиеся условия функционирования, инновационный базис, стратегия развития, инфраструктура.

Применительно к освоению запасов месторождений полезных ископаемых важное значение имеют такие понятия, как:

- бортовое и среднее содержание основного полезного ископаемого, определяющее величину запасов, в том числе промышленных;
- ценность попутных компонентов в добываемом сырье в зависимости от коэффициента их извлечения;
- решающая зависимость технико-экономических показателей от природных условий;
- исчерпаемость и невозобновимость конкретных месторождений полезных ископаемых;
- комплексность месторождений и минерального сырья;
- наличие территориальных комплексов природных ресурсов;
- разнообразие природных условий разработки одноименного минерального сырья;
- индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья;
- высокая природная изменчивость геологических параметров в пределах одного месторождения полезных ископаемых;
- многопроцессность горного производства и нестационарность активной части основных фондов горного производства.

Все это требует детальной геометризации размещения полезного ископаемого в недрах, технологического картирования, выбора горной техники и технологии, соответствующих горно-геологическим условиям и адаптивных к изменчивой геологической среде, планирования горных работ в режимах селективной выемки и внутрирудничного усреднения, разработки технологических схем и реагентных режимов комплексной переработки, создания комплексных систем управления качеством минерального сырья и продукции горных предприятий в цепи забой – потребитель.

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, на уровень полноты и комплексности использования запасов, а также на эффективность последующих процессов переработки сырья.

Переходные процессы – это совершенно объективно необходимый путь перевода горнотехнической системы предприятия в состояние, учитывающее изменение условий (внешних и внутренних) для ее успешного доразвития и функционирования, от организационной структуры и ее параметров, созданных в условиях неполноты информации, к системе, обоснованной исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретно осваиваемого месторождения к новой организационной структуре, технологически и технически оснащенной, соответствующей изменившимся геологическим характеристикам и другим параметрам вновь вскрываемых запасов минерального сырья, требующим других технологий добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

Исследование переходных процессов, установление причин их возникновения, понимание сущности происходящих изменений и закономерностей их развития в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях является основой создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока отработки месторождения.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным и может использоваться 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.

Переходные процессы являются этапами стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений – долгосрочного плана действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической информации о месторождении при принятии заранее спланированных технологических и технических решений в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий функционирования горного предприятия, включая учет закономерностей их развития при принятии инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья.

Признанием объективной необходимости исследования переходных процессов в качестве нового научного направления при разработке теоретических основ стратегии и технологии комплексного освоения месторождений явилось включение в план научно-исследовательских работ УрО РАН в качестве государственного задания темы фундаментальных исследований на 2016 – 2018 гг. «Теоретические основы стратегии комплексного освоения месторождений и технологий их разработки с учетом особенностей переходных процессов в динамике развития горнотехнических систем» (рег. № 0405-2015-0010) и темы «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (рег. № 0405-2019-0005).

Понимание (осознание) роли и места переходных процессов в социально-экономическом и научно-технологическом развитии России – ключевой геополитический аспект выработки стратегии дальнейшего развития во всех отраслях экономики, политики, технологии образования, системы подготовки кадров, организации системы управления опережающим развитием отраслей и структур, обеспечивающим успешную разработку и реализацию комплекса законодательных (правовых), организационных, научно-технологических, проектных, конструкторских мероприятий и действий, являющихся основой создания инновационного базиса своевременной эффективной адаптации действующих, в частности, геотехнологических и горнотехнических систем к изменяющимся условиям динамики внешней и внутренней как отдельного предприятия, так и ин-

фраструктуры, его окружающей, и далее объединений, региона, отрасли народного хозяйства в целом и места государства в геополитическом и социально-экономическом мировом пространстве (сообществе).

1.2. Этапы формирования основ эффективного освоения месторождений и параметров развития горных предприятий

Основы эффективного освоения месторождений полезных ископаемых закладываются на нескольких этапах формирования и развития параметров горных предприятий (рис. 1.3). Все приведенные в геологическом отчете данные о запасах и параметрах месторождения являются прогнозируемыми с определенной степенью достоверности.

В процессе проектирования в условиях неполноты геологической информации принимаются решения о способе разработки месторождения, схеме вскрытия и системе разработки, объемах производства, способах и технологии обогащения и т.д.

В процессе эксплуатации месторождения уточняются запасы и параметры залежей, соответствие применяемой горной техники прогнозируемым условиям ее применения, изменяются требования потребителей по объемам, качеству и цене товарной продукции предприятия, что требует выработки стратегии его дальнейшего инновационного развития на основе как можно более полной и надежной информации.

При принятии решений, связанных с освоением месторождений, необходим учет и прогноз:

- условий залегания месторождения; запасов, их характеристики и закономерности колебания свойств в контурах будущего карьера (шахты, рудника);
- возможностей комплексного освоения многокомпонентных руд и использования вмещающих пород;
- изменений горнотехнических условий в процессе развития горных работ с целью оптимизации последовательности формирования схемы вскрытия, транспортной системы карьера (рудника);
- состояния и перспектив развития горного, транспортного и обогатительного оборудования и формирования на этой основе комплексов технологических процессов;

– сложившейся инфраструктуры в районе осваиваемого месторождения и перспективы его комплексного горнопромышленного развития;

– перспектив изменения цен на продукцию горного предприятия и потребляемую энергию, сырье, материалы и т.п.

Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности должен включать [51]:

1. Объемы добычи и производства основных видов минерального сырья на перспективу (15 – 20 лет).

2. Изменения в территориальном размещении действующих и перспективных предприятий, разрабатываемых введенные в эксплуатацию и вновь осваиваемые месторождения.

3. Возможные изменения в соотношении объемов добычи, производства товарной продукции и объемов выемки горной массы различными способами разработки месторождений: открытый, подземный, комбинированный.

4. Перспективы поэтапного развития основных технологических процессов производства горных работ (экскавация, транспорт, отвалообразование, буровзрывные работы) с учетом изменений в системах разработки, схемах вскрытия, способах управления качеством добываемого сырья, влияющих на обоснование перспективных направлений технологического развития в различных процессах добычи, рудоподготовки и переработки минерального сырья.

На необходимость и эффективность переходных процессов при адаптации горно-технологических систем горных предприятий влияют также:

– состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы других видов минерального сырья в регионе;

– состояние и перспективы комплексного использования основных и попутных компонентов добываемого минерального сырья;

– возможные изменения в подходах к организации предприятий открытого типа, комплексному освоению территорий с созданием единых систем инфраструктуры и т.п.;

– возможности и перспективы развития смежных отраслей промышленного производства горных машин и оборудования, отвечающих специфическим условиям конкретных месторождений и горных предприятий.

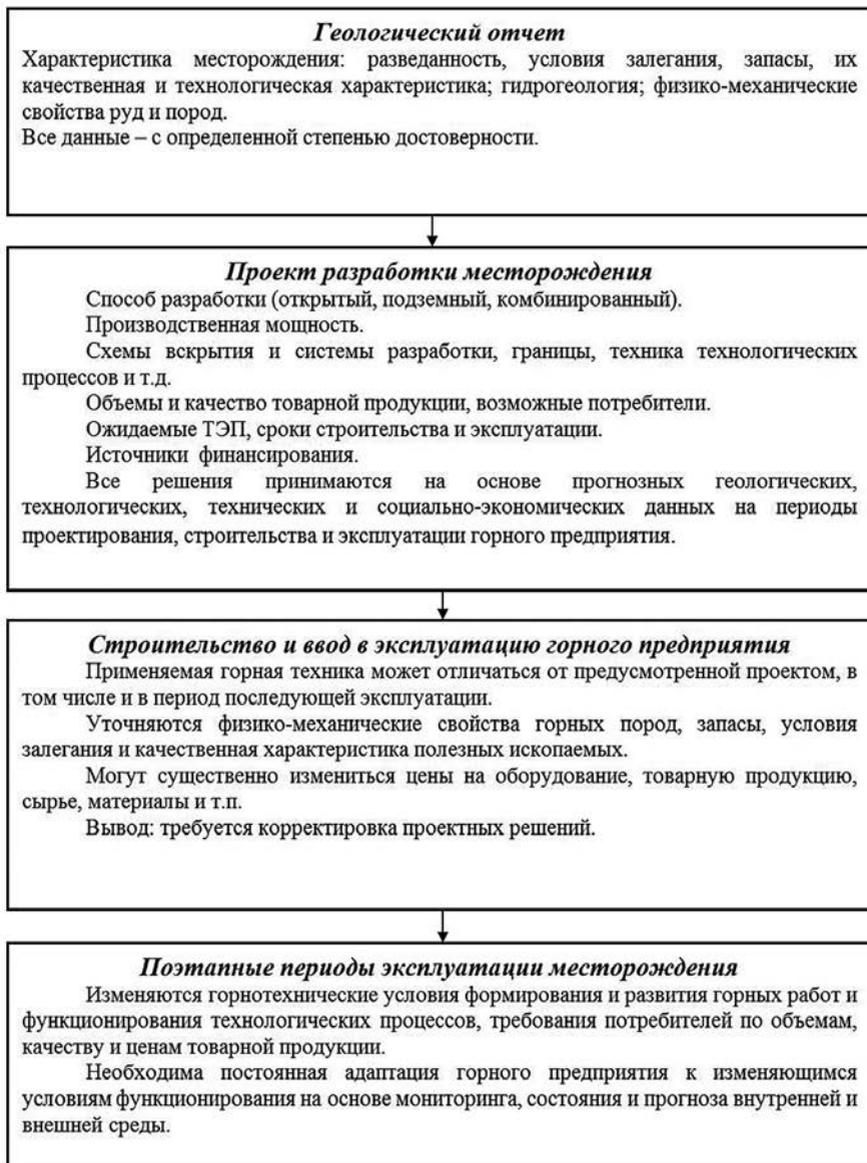


Рисунок 1.3 – Этапы формирования основ эффективного освоения месторождений и параметров развития горных предприятий

При прогнозировании технологического развития горнодобывающих отраслей и выделении первоочередных объектов освоения недр в новых регионах следует использовать оценки их минерально-сырьевого и стоимостного потенциала.

Исходя из изложенного, на современном этапе прогнозирования следует учитывать три основные особенности технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности:

1. На действующих предприятиях:

– модернизация оборудования, необходимость которой обусловлена большой долей морально и физически устаревшего оборудования и возможностью выбора на мировом рынке его образцов, наиболее соответствующих специфическим горнотехническим условиям конкретного горного предприятия;

– необходимость совершенствования параметров технологических процессов, а также схем вскрытия и систем разработки, учитывая, что при проектировании в силу ограниченности информации и действовавших в период плановой экономики норм и правил технологического оборудования невозможно было использовать методы прогнозирования, доступные в настоящий период;

– необходимость реконструкции вскрытия глубоких горизонтов, в том числе с учетом изменения предельной глубины открытых горных разработок и перехода на подземную или комбинированную разработку месторождений.

2. При освоении месторождений в новых, в том числе северо-восточных регионах: недостаточное развитие инфраструктуры, дефицит кадров, источников энергии, перерабатывающих добываемое минеральное сырье производств.

3. Возможность использования при прогнозировании технологического развития нового методического подхода, сформировавшегося в последние годы при выполнении конкурсных проектов фундаментальных исследований программно-целевого метода, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом закономерностей изменения внешних и внутренних факторов при поэтапном развитии сырьевой базы осваиваемых регионов.

Уникальной закономерностью в развитии горнодобывающей промышленности является решающая зависимость ее технико-экономических показателей от природных горно-геологических и физико-географических условий, ограниченность и крайне неравномерное распределение «хороших» месторождений по странам и континентам. Истощение «хороших» месторождений ведет к удорожанию разведки, добычи и переработки богатств недр, и это удорожание не компенсируется развитием НТП – единица конечного продукта обществу обходится с каждым десятилетием все дороже. Это уникальное обстоятельство в корне отличает горнодобывающую промышленность от всех других отраслей народного хозяйства. Оно должно быть со всей полнотой учтено при определении стратегии и оценке перспектив развития горного дела, в том числе при разработке методологических основ освоения запасов минерального сырья.

В табл. 1.1 приведены закономерности развития горнодобывающей промышленности, причины, их порождающие, и способы учета при разработке методологии освоения георесурсов.

К числу особенностей условий развития горнодобывающих отраслей промышленности, учет которых необходим при разработке стратегии освоения недр и развития минерально-сырьевой базы регионов и страны в целом, также относятся:

1. Истощаемость и невозобновимость конкретных месторождений полезных ископаемых.
2. Комплексность месторождений и минерального сырья.
3. Неравномерность распределения в пространстве различных видов топливно-энергетических и минеральных ресурсов.
4. Наличие территориальных комплексов природных ресурсов.
5. Разнообразие природных условий разработки месторождений одноименного минерального сырья.
6. Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья (рис. 1.4).
7. Высокая природная изменчивость геологических параметров в пределах одного месторождения.
8. Нарастание информации о месторождении по мере его освоения и принятие решений в условиях неопределенности.

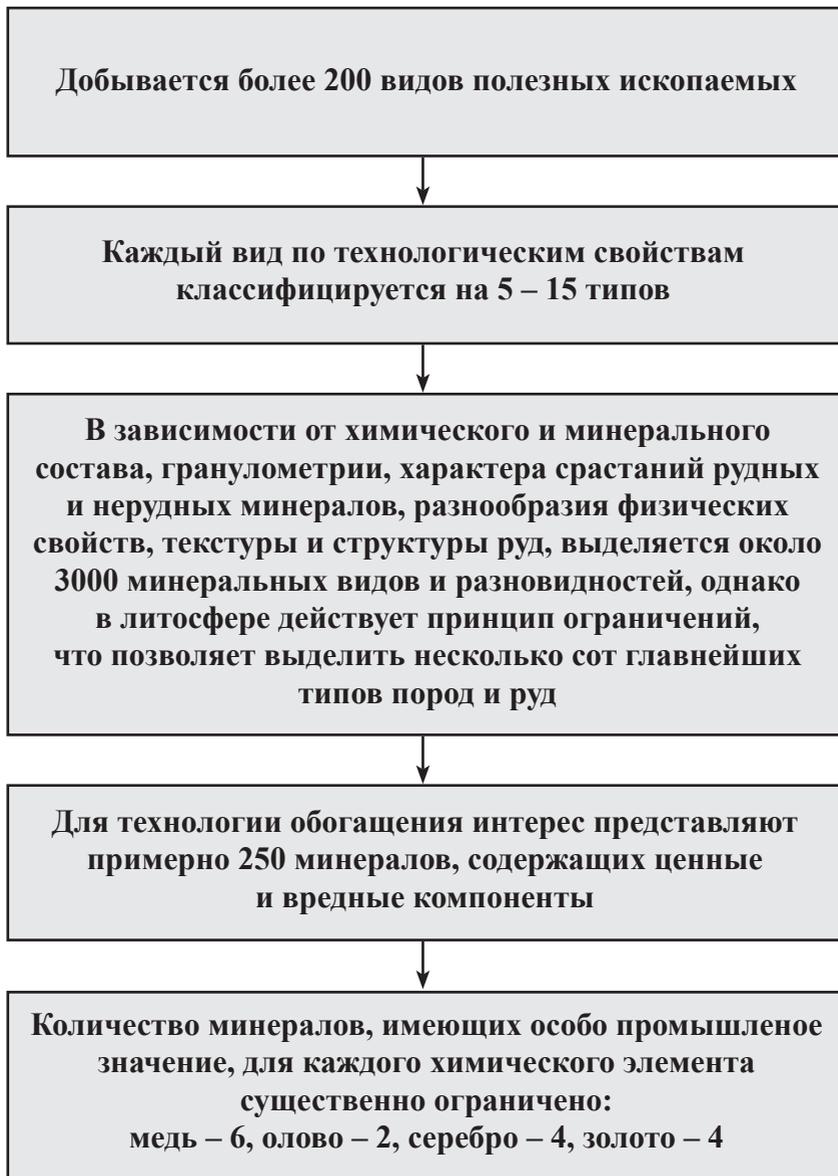


Рисунок 1.4 – Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья

Таблица 1.1 – Закономерности развития горнодобывающей промышленности

№ п/п	Закономерности	Причины, их порождающие, и способы учета при разработке методологии освоения георесурсов
1	Рост объемов добычи полезных ископаемых	Рост народонаселения в мире, научно-технический прогресс, потребности человечества в тепле, жилье, энергии и материалах. Три особенности роста объемов добычи: разрыв в уровнях потребления полезных ископаемых на душу населения в индустриально развитых и развивающихся странах; изменение в структуре общей стоимости минерального сырья (золото, железная руда, уголь); изменение доли объектов освоения: материка, океаны и моря.
2	Рост глубины разработки месторождений полезных ископаемых	За XX век прирост максимальной глубины разработки угольных и рудных месторождений составил более 1 км, а средние темпы роста более 10 м/год. При проектировании и разработке отдельного месторождения рост глубины извлекаемых ежегодно запасов минерального сырья требует поэтапного перехода на новые параметры техники и технологии горного производства.
3	Уменьшение среднего содержания главных полезных компонентов в добываемом сырье	Среднее содержание меди в начале XX века – 2%, к 1960 г. – 1%. В настоящее время на некоторых месторождениях, разрабатываемых открытым способом, снизилось до 0,5%; среднее содержание железа во второй половине XX столетия снизилось с 44,6 до 34,7%. Для получения товарной продукции нужного качества приходится увеличивать добычу и переработку более бедных руд во все больших объемах.
4	Распределение размеров месторождений	Чем крупнее месторождение по запасам, тем их меньше. Месторождения бедных руд являются более крупными. По данным академика В.И. Вернадского [79]: 65% мировых запасов имеют низкое содержание минералов, 30% – среднее и только 5% – высокое, но они уже практически выработаны.
5	Запасы руды и металла есть функция бортового содержания (минеральное содержание в краевых пробах рудного тела)	Бортовое содержание определяет запасы руды и металла, и они могут увеличиваться при принятии более низкого бортового содержания. При снижении среднего содержания железа до 20% на 13 железорудных месторождениях запасы сырой руды возрастают в среднем на 90%, а железа на 72% [53]. Длительные сроки отработки месторождений и изменения показателей кондиций требуют периодической геолого-экономической переоценки месторождений.
6	Опережающий рост извлекаемых объемов горной массы по сравнению с ростом объемов основного конечного продукта	При изменении бортового содержания на одном из месторождений с 0,25% до 0,07% запасы руды увеличились в 11,6 раза, а запасы металла – только в 4,4 раза. Если еще учесть необходимость выемки вскрышных пород, то прирост объемов горной массы по сравнению с приростом добычи полезного ископаемого еще увеличится. Так, на железорудных карьерах РФ за период с 1990 г. по 2016 г. выход товарной руды снизился с 41,1% до 35,8%, в то время как объемы добычи сырой руды возросли с 263 млн т до 298,1, т.е. на 1 т товарной руды прирост сырой руды составил 2 т.

1.7	Повышение доли попутных компонентов в общей ценности минерального сырья и рост доли комплексных месторождений	Все месторождения полезных ископаемых являются потенциально комплексными, однако в процессе переработки основного полезного ископаемого (железа, меди), содержащихся в сырье в малых количествах, накапливаются в полупродуктах или отходах производства. Из 74 извлекаемых химических элементов 62 являются попутными. В табл. 1.2, 1.3 приведены данные о возможной динамике доли попутных компонентов в общей ценности руд цветных (табл. 1.2) и черных (табл. 1.3) металлов.
1.8	Расширение и смена номенклатуры источников минерального сырья и направлений его использования	<p>Так, расширение сырьевой базы железорудной промышленности произошло за счет освоения в 40 – 50-е годы месторождений железистых кварцитов. Еще 350 лет тому назад были известны всего 15 химических элементов. В XVIII в. были открыты бериллий, азот, хлор, титан, хром, марганец, никель, стронций, иттрий, молибден, теллур, вольфрам, платина, висмут. Основная масса элементов была открыта в XIX в., а периодическая система элементов – в 1869 г.</p> <p>Расширение номенклатуры источников минерального сырья привело к открытию сотен месторождений новых промышленно-генетических типов и других источников минерального сырья.</p>
1.9	Решающая зависимость технических-экономических показателей работы горных предприятий от природных условий	<p>Обзор и классификация факторов, влияющих на систему экономических показателей горных предприятий, даны академиком Н.В. Мельниковым [49]. Учитывая описанный в литературе опыт, принята следующая классификация факторов.</p> <p>Горно-геологическая группа. Сюда относятся: запасы, их качество, категория сложности геологического строения, обводненность пород, мощность покрывающих пород, крепость вмещающих пород и полезного ископаемого, тектоническая нарушенность, угол падения залежи, глубина разработки, число рудных тел (угольных пластов), их мощность и строение, коэффициент вскрыши и др.</p> <p>Физико-географическая группа. Средняя температура воздуха в июле и январе, относительная влажность воздуха (минимальная и максимальная), величина атмосферного давления, количество осадков, высота снежного покрова, число туманных дней в году, средняя минимальная и максимальная скорость ветра, суммарная солнечная радиация, сейсмичность района, характер рельефа, водные ресурсы, географическая широта и долготы, наличие вечной мерзлоты.</p> <p>Важнейшее значение имеют также факторы, определяющие начальные условия освоения месторождения: годовая производственная мощность предприятия, показатели кондиций, системы вскрытия и разработки месторождения, характеристики социально-производственной инфраструктуры района освоения.</p>
1.10	Ухудшение естественных условий добычи и переработки минерального сырья	Эта закономерность является следствием рассмотренных выше закономерностей и ряда других причин. Условия добычи и переработки минерального сырья характеризуются уровнем безопасности работ, производительностью труда, себестоимостью конечной продукции, фондоотдачей и рядом других показателей.

Таблица 1.2 – Доля попутных компонентов в общей ценности руд медных руд разных промышленных типов [80]

Промышленный тип, подтип и попутные компоненты	Доля ценности попутных компонентов в ценности 1 т руды, %		
	Извлекаемая	Перспективная	Потенциальная
Медно-колчеданный Zn, S, Bi, Co, Hg, Sb, Ba, Se, Te, Zn, Ba, Ge, Tl, Cd	Zn, S, Se, Te, Cd и др. до 70	Co, Tl 71	85
Медистые песчаники Pb, Zn, S, Ag, Re, Se, Te, Cd и др. (всего 25 элементов)	S, Pb, Re, Se, Te <40	Zn, Cd ~41	57
Медно-порфировый Mo, Au, Ag, Se, Te, Re, S, Bi, Co, Ge, Zn, As, Sb, Pb, Zn, Sn, W, Cd, Ni	Mo, Au, Ag, Re, Se, Te, S 43	Bi, Ge до 44	66
Кварцево-жильный S, Mo, Se, Te, Ge, Au, Ag	S, Se, Te, Au, Ag 21,3	Mo и др. >30	45
Скарновый Au, Ag, S, Mo, Fe, Se, Te, Co, Bi, Re, As, Be, V, Sb, Sn, Ga, Ge, Tl	Mo, Se, Te, Au, Ag, Fe 37	Bi 40	66
Ванадиево-железомедный Fe, P, V, Ga, Se, Ti	Fe, P, V 36	Другие до 50	84
Медно-кобальтовый S, Co, Ag, Cd, Mo, Se, Te, Zn, Ge и др.	S, Co и др. 53	Se до 60	74

Таблица 1.3 – Доля попутных компонентов в общей ценности одной тонны железной руды основных промышленных типов [81]

Промышленный тип, подтип и попутные компоненты	Доля ценности попутных компонентов в ценности 1 т руды, %		
	Извлекаемая	Перспективная	Потенциальная
Титаномагнетитовый V, Ti, Sc*	29,2	32,0	75,6
Апатит-магнетитовый P, Zr, Hf*, Ta, Nb, Sc*	6,1	38,4	61,3
Скарново-магнетитовый Медно-магнетитовый Cu, Zn, Pb, Ni, Co, S, Se, Te, Tl, As*, Jn*	0,0	10,7	31,7
Скарно-магнетитовый с бором, то же + В	не разрабатываются	44,0	61,7
Скарно-магнетитовый с апатитом, то же, что «А» + Р	–	12,8	33,9
Скарно-магнетитовый с висмутом, то же, что «А» + В	–	38,7	57,4

Промышленный тип, подтип и попутные компоненты	Доля ценности попутных компонентов в ценности 1 т руды, %		
	Извлекаемая	Перспективная	Потенциальная
Магнетит-гематитовый Mn, Ge	0,0	38,1	44,6
Железистые кварциты Mn, Ge, Au*, U*	0,0	65,8	76,0
Лептохлорит-гидрогетитовый Морской P, Al ₂ O ₃	2,0	–	5,3
Континентальный	0,0	20,2	27,5
Лагеритный (природно-легируемый, железохромоникелевый) Ni, Cr, Co	29,7	43,9	61,4

* в расчетах не учитывались

Необходимость исследования и учета переходных процессов в технологии их разработки обусловлена факторами природной изменчивости геологических параметров сложноструктурных месторождений [27]:

1. Залегают в виде жил, линз, пластов переменной мощности.
2. Тела полезного ископаемого содержат включения пустых пород или некондиционных руд разных размеров и формы, осложнены складчатыми или разрывными тектоническими нарушениями.
3. Мощность и элементы залегания, устойчивость горных пород, их трещиноватость, естественная блочность, сложность, пределы прочности и деформационные свойства меняются в широких пределах.
4. Изменяется качественный состав полезного ископаемого, имеет место закономерная или случайная зональность общего баланса минералов, высокая неравномерность их содержания и гранулометрического состава от сплошных до тонковкрапленных руд.

Всё это требует детальной геометризации размещения полезного ископаемого в недрах и учета при выборе горной техники и технологий, адаптивных к изменениям геологической среды, планирования горных работ в режимах селективной выемки и усреднения, создания инновационных технологий добычи и рудоподготовки с учетом закономерностей переходных процессов при изменении условий функционирования горно-обогатительного предприятия.

Исследование переходных процессов, установление причин их возникновения, понимание сущности происходящих изменений и закономер-

ностей их развития в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях является основой создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений.

В структурном виде новые подходы сводятся к совокупному применению программно-целевых методов, основанных на принципах системности, комплексности и междисциплинарности исследований и их инновационной направленности (табл. 1.4) [54, 57, 70].

Таблица 1.4 – Основные принципы методологического подхода к решению проблем освоения недр

Принцип	Сущность
Системность	Раскрытие основных правил исследования, эксплуатации или освоения минерального объекта, выявление многообразных типов внешних и внутренних связей, влияющих на построение обобщенной модели исследуемой системы
Комплексность	Исследование не только явлений и процессов разработки месторождений, но и возможности наиболее полного использования всех компонентов минерального сырья, освоения и развития территорий и регионов их расположения
Междисциплинарность	Объединение усилий в смежных областях научных знаний для разносторонней оценки полезного эффекта и поиска нетрадиционных подходов к использованию богатств недр
Инновационная направленность	Обязательное требование, призванное обеспечить материализованный результат, полученный от вложения средств в научные исследования, новую технику или технологию, в новые формы организации производства, безопасности, управления и т.п.

К числу наиболее значимых научных, технологических и организационно-технических вопросов, решаемых при проектировании и разработке сложноструктурных месторождений большой глубины, требующих исследования переходных процессов, относятся:

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 [8, 10 – 16, 20, 22].

5. Поэтапная разработка месторождений, формирование временно нерабочих бортов карьеров и последующая их разработка с использованием специальных технологий и технических средств взрывания, экскавации, транспорта [17].

6. Вскрытие новых горизонтов, в том числе с возможным изменением физико-механических свойств и вещественного состава слагающих их горных пород [43].

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 [2, 4, 42].

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

Необходимость применения инновационных технологических, технических и организационных решений в переходные периоды разработки месторождений возможно определить непрерывным мониторингом развития горнотехнической системы на всех стадиях освоения месторождения в связи с изменяющимися во времени и пространстве внешними и внутренними условиями функционирования горного предприятия [73, 76, 79].

1.3. Анализ опыта решения проблем формирования основ эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых

В работе [56] изложен уникальный опыт проектирования, строительства и эксплуатации Коркинского угольного, Сибайского и Сорского

рудных карьеров, исследованы и обобщены закономерности их функционирования в различные периоды эксплуатации. Показаны примеры научных подходов к решению сложных инженерных задач, возникающих в связи с неопределенностью горно-геологической информации и ее изменениями в процессе разработки месторождений.

Основная идея методического подхода авторов работы состоит в том, что максимальный эффект от реализации любого технического или технологического решения локальной или комплексной проблемы (задачи) может быть достигнут только в случае четкости ее постановки во взаимосвязи всех трех этапов: «наука – проект – производство» при условии повторного или многократного прохождения этого цикла в случае изменения условий функционирования системы или невозможности достижения ожидаемого результата.

Выбор Коркинского угольного карьера (разреза) в качестве одного из основных объектов исследования и обобщения опыта проектирования, строительства и эксплуатации обусловлен тем, что на его примере можно проследить закономерности технического прогресса за длительный период (80 лет), ибо он был полигоном для испытания и доводки техники и технологии открытых горных разработок.

После 1933 года, когда был составлен первый проект разреза глубиной 40 м, было в дальнейшем разработано еще 6 проектов, в каждом из которых изменялась в сторону увеличения проектная глубина разреза (соответственно 80, 115, 350, 475, 570 и 630 м), что подтверждает объективную необходимость поэтапного проектирования и разработки практически всех глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых.

Еще одной уникальной особенностью характеризуется опыт разработки Коркинского бурогоугольного месторождения большой глубины – отсутствием внутрикарьерных технологических перевозок угля и вскрышных пород автосамосвалами, что практически стало неизбежным на всех карьерах большой глубины и производительности, где в проектах было предусмотрено применение только железнодорожного транспорта (например, карьеры комбинатов Ураласбест и Качканарского).

Что касается формирования транспортной системы Коркинского разреза, то первое же применение ленточных конвейеров на транспорти-

ровке добытого угля с пункта перегрузки с узкоколейки горизонта +200 м разреза № 1 на поверхность показало огромную их перспективу для транспортировки угля, особенно при замене маломощных конвейеров с шириной ленты 700 – 800 мм на их аналоги с шириной 900 и даже 1200 мм. Выпуск последних типа РТ-60 был быстро освоен на Копейском машзаводе им. Кирова. Переход на формирование транспортных грузопотоков добытого угля с использованием конвейеров РТ-60 позволил отказаться уже с 1940 г. от использования шахтных вагонеток, бесконечного каната и гужевого транспорта на перемещении вагонеток с углем.

Применение быстромонтируемых и демонтируемых конструкций ленточных конвейеров вслед за добычным экскаватором позволило решить задачу нарезки новых горизонтов по мере углубки добычных работ и регулировки высоты обрабатываемого забоя.

К моменту выполнения проекта отработки угольного разреза «Коркинский» на глубину до 475 м железнодорожные пути были уложены на гор. –30 м (глубина 265 м) и дальнейший их спуск до глубины 360 м мог быть осуществлен с устройством четырех тупиковых заездов с уклоном путей 37%.

Сложная схема развития железнодорожных путей в дальнейшем подлежала переукладке в новое положение в связи с необходимостью приведения борта в предельное положение.

Указанные сложности развития схемы железнодорожных путей с переукладкой их при эксплуатации и значительное опережение в горных работах вызвали необходимость рассмотреть вариант развития железнодорожных путей на глубоких горизонтах с применением руководящего уклона на железнодорожных путях 60%.

На карьерах не применялись такие уклоны, поскольку существующие пневматические тормоза не обеспечивали безопасность движения поездов на уклонах более 40%.

Основанием для применения 60% уклонов стала разработка институтом «ПромтрансНИИпроект» системы электропневматических тормозов, обеспечивающих безопасность движения поездов на таких уклонах, и выполненные технико-экономические расчеты и проектные проработки института Уралгипрошахт, которые показали, что применение 60% уклонов позволяет значительно упростить схему.

Таким образом, только применение на железнодорожных путях разреза «Коркинский» 60% уклонов позволило в весьма узком стесненном пространстве отработать разрез до глубины 570 м, при этом зона эффективного применения железнодорожного транспорта по глубине составила 475 м в сравнении с 360 м при уклоне 37%.

Из опыта проектирования, строительства и эксплуатации Сибайского и Сорского карьеров следует особо отметить:

- поэтапное (в 3 очереди) проектирование, при этом, на каждом этапе учитывался опыт предыдущих этапов эксплуатации, результаты научных исследований, уточнялись параметры систем вскрытия и разработки транспортных систем, бурового и погрузочного оборудования;

- организацию служб новой техники (НТ), в задачи которых входила не только оценка состояния основных параметров горных работ и технологических процессов, но и разработка конкретных способов их совершенствования, обеспечение безопасной, безаварийной работы горных предприятий;

- обоснование, разработку и реализацию на практике способа непрерывного проектирования, планирования и ведения открытых горных работ на основе трехзвенной связки: наука – проект – объект («Способ Н-П-О»);

- разработку защищенного патентом способа обнаружения, измерения и предотвращения аварийной, травмоопасной обстановки («Способ ТН-ТГ-РТБ»).

Анализ опыта проектирования, строительства и эксплуатации Коркинского разреза, Сибайского и Сорского карьеров позволил сделать предварительные выводы относительно проблемы переходных процессов.

При всей, казалось бы, простоте технологии разработки месторождений твердых полезных ископаемых, когда на большинстве горных предприятий в близких геологических и горнотехнических условиях применяются аналогичные схемы вскрытия, системы разработки, горные и транспортные машины, принятие совокупности технических и технологических решений при проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров, особенно карьеров повышенной глубины и производительности, представляет сложную научно-инженерную задачу.

Это объясняется следующими особенностями разработки месторождений:

- каждое месторождение уникально, условия залегания полезного ископаемого и вмещающих горных пород, их текстура, физико-механические свойства, содержание отдельных компонентов и т.п. имеют специфику и, как правило, полных аналогов в природе не существует;

- неполнота исходной геологической информации предопределяет неизбежность ее уточнения в процессе эксплуатации и пересмотр многих проектных решений;

- процесс разработки большинства месторождений длится десятки, а иногда и сотни лет, за длительный период эксплуатации технический прогресс в корне меняет представления о рациональных параметрах горных работ, эффективности применяемых технологий, технических средств, экономичных границах карьеров.

Всё это делает весьма ценным накопленный в XX веке опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров в части решения наиболее сложных проблем, к числу которых, в первую очередь, следует отнести:

1. Формирование карьерного пространства: определение начальных и предельных границ карьера, в том числе его глубины и углов наклона бортов, обоснование порядка разработки месторождения.

2. Интенсивность разработки месторождения: темп понижения горных работ, производственная мощность карьера по полезному ископаемому и вскрыше, режим горных работ, сроки строительства и эксплуатации.

3. Формирование транспортной системы карьера: выбор видов и технических средств транспорта, способы вскрытия глубоких горизонтов, способы перехода на новые виды и схемы транспорта, изменение параметров, транспортных коммуникаций и т.п.

4. Управление устойчивостью откосов уступов и бортов карьеров в сочетании со стремлением придать им максимально возможную крутизну.

5. Управление качеством горной массы во всей технологической цепи от забоя до приемных устройств на поверхности.

Вторая половина XX столетия в горном производстве прошла под знаком преимущественного развития открытых горных разработок. В от-

личие от подземных рудников и шахт на рудных карьерах и угольных разрезах ускоренным темпом шел технический прогресс, особенно в грузочно-транспортном комплексе, где вместимость ковшей экскаваторов, грузоподъемность думпкаров и автосамосвалов за полвека увеличилась в десятков раз, что позволило при достижении карьерами глубин 400 – 500 м сохранить технико-экономические показатели, обеспечивающие экономическую эффективность работы горно-обогатительных предприятий.

Вместе с тем следует отметить, что дальнейшее совершенствование технологии и техники открытых горных разработок за счет применения горного оборудования все большей единичной мощности практически почти исчерпаны: буровые станки шарошечного бурения достигли своей предельно допустимой массы, вместимость ковшей экскаваторов свыше 20 м³ (до 40 м³) уместна лишь на ограниченном числе горных предприятий, равно как и автосамосвалов грузоподъемностью свыше 200 т (до 360 т).

Учитывая, что, хотя в сравнении с подземными открытые горные работы обеспечивают пока более высокие технико-экономические показатели, дальнейшее понижение центра тяжести горных работ в связи с перемещением рабочей зоны на более глубокие горизонты подводит многие горные предприятия к краю рентабельности, в связи с чем требуются новые технологические решения, способные существенно повысить экономичность открытых горных разработок на больших глубинах.

Наибольший эффект могут дать технические и технологические решения в следующих направлениях:

1. Оптимизация порядка разработки месторождения и последовательности формирования карьерного пространства и его рабочей зоны на основе минимизации объемов вскрышных работ за счет применения предельно крутых по технологическим возможностям рабочих и по условиям устойчивости конечных бортов карьеров.

2. В свою очередь, обеспечение более крутых рабочих и конечных бортов карьеров возможно лишь на основе применения транспортных систем, не требующих значительного объема широких транспортных берм, щадящего режима буровзрывных работ и мониторинга геомеханической ситуации с целью предупреждения опасных геодинамических явлений в бортах и уступах.

3. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров следует осуществлять с помощью средств крутого подъема (конвейеры, скиповые подъемники, тяговые агрегаты при уклонах путей 60% и др.) при ограниченной высоте подъема горной массы автосамосвалами от забоя до мест перегрузки.

4. Давно известным, но до сих пор не используемым резервом повышения эффективности горного производства является его организация, повышающая при прочих равных условиях производительность трудящихся и горно-транспортного оборудования.

5. Комплексное использование минерального сырья должно осуществляться на основе управления его качеством от забоя до конечного продукта после обогащительного процесса.

6. Использование карьерного пространства для внутреннего отвалообразования вскрышных пород и части отходов предобогащения и предконцентрации руд в случае расположения пунктов рудоподготовки непосредственно в карьере позволяет решить проблему ресурсосбережения не только на подъеме горной массы из карьера до мест складирования на поверхности, но и за счет сокращения занимаемых под отвалы площадей сельскохозяйственных земель.

1.4. Обоснование методов и этапов адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений

По результатам систематизации горно-геологических условий отработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений установлено:

– горно-геологические условия отработки месторождений являются одним из основных факторов при технико-экономическом обосновании целесообразности освоения запасов полезного ископаемого (ПИ);

– пространственно-морфологические факторы залегания рудных тел обуславливают выбор способа разработки месторождения и технологии вскрытия, определяют механизацию горных работ, параметры системы разработки при изменении геологических и горнотехнических условий по мере развития горных работ;

– объемно-качественные характеристики пород наряду с морфологическими признаками определяют технологии и параметры добычи, схемы рудоподготовки и обогащения, срок службы и производительность предприятия, влияют на выбор технологического оборудования;

– повышенная обводненность месторождения влияет на устойчивость горных выработок и бортов карьера, в результате её воздействия образуются плавучие и текучие горные породы, она ухудшает условия разработки в карьерах, увеличивает прилипание горных пород в ковшах, кузовах горных машин, смерзание, уменьшение вместимости и т.п., вызывает увеличение затрат на добычу.

Интенсивная разработка приповерхностных запасов месторождений твердых полезных ископаемых привела к тому, что в настоящее время для поддержания необходимой производственной мощности горные предприятия вынуждены вовлекать в эксплуатацию глубокозалегающие запасы во всё большем объеме. При этом применяемые к моменту перехода на глубокие горизонты схема вскрытия, конструкция и параметры системы разработки, технологическое оборудование и режим их функционирования не в полной мере соответствуют новым горно-геологическим и горнотехническим условиям, экономическим и экологическим требованиям.

При разработке глубокозалегающих рудных месторождений по мере нарастания горно-геологической и горнотехнической информации или изменения макроэкономических и экологических условий возникает необходимость модернизации горнотехнической и организационно-технологической систем (далее – горно-технологическая система) горного предприятия и корректировки параметров основных технологических процессов добычи. А любое, даже незначительное, изменение в технологии, механизации, объеме и объекте добычи на действующих горных предприятиях предполагает необходимость обоснования параметров техники и технологии переходных процессов. Переход системы в новое технологическое и организационное состояние обуславливает изменение входящих в нее подсистем и элементов под воздействием влияющих условий и факторов. Поскольку состояние данной системы характеризуется определенным набором параметров и технико-экономических показателей (длительность перехода, производственная мощность, капитальные и эксплуатационные затраты, извлекаемая ценность и т.п.), то ее измене-

ние в переходный период можно оценить через изменение параметров и показателей соответствующих подсистем и элементов.

К числу основных вопросов, требующих решения, относится обоснование методов, этапов и сроков адаптации параметров основных технологических процессов на действующих горных предприятиях к изменяющимся внутренним и внешним условиям их функционирования и при освоении новых глубокозалегающих месторождений в различных природно-климатических и горнотехнических условиях, в том числе:

- установление закономерностей изменения горно-геологических, горнотехнических и горно-технологических условий при разработке сложноструктурных месторождений;

- обоснование методов установления периодичности изменения техники и технологии горных работ при поэтапной разработке глубокозалегающих месторождений;

- установление и оценка основных факторов, влияющих на показатели горно-технологических систем при подземной разработке глубокозалегающих запасов железорудных месторождений;

- разработка математического и методического инструментария для учета изменяющихся показателей транспортной системы карьера в переходных процессах (в том числе на основе компьютерного моделирования);

- условия эффективного применения комплексов циклично-поточной технологии при разработке глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых;

- технические решения по сбережению материальных ресурсов при производстве буровзрывных работ;

- обоснование методики выбора технологической схемы рудоподготовки в карьере (усреднение, сортировка, селективная отработка и предобогащение) на основе оценки контрастности химических и текстурно-структурных свойств минерального сырья;

- научное обоснование развития системы безопасности горных работ с учетом изменения условий их производства с учетом методики управления производственными рисками, основанными на контроле опасных производственных ситуаций.

Одним из перспективных направлений развития методологии переходных процессов является ее применение при исследовании и комплексном

планировании организации горного производства в условиях инновационного развития действующих горных предприятий, что подтверждается выполненной, при научной консультации автора монографии, и защищенной докторской диссертацией «Методология комплексного планирования горного производства в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия», в которой автором исследования обосновано [68], 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. Сущностью переходных процессов производственной системы является трансформация ее структуры, выражаемая в изменении взаимосвязей и взаимоотношений в производственной деятельности персонала угледобывающего предприятия. В условиях инновационного развития переходные процессы становятся доминирующими в производственной деятельности персонала.

Установлено, что в процессе трансформации структуры производственной системы в ней закономерно возникают противоречия, вызываемые различным темпом изменения состояния подсистем и технологических процессов. Своевременное разрешение этих противоречий позволяет управляемо изменять состояние производственной системы. Мотивация и квалификация персонала, его вовлеченность в инновационную деятельность и организация эффективного взаимодействия являются основой успешной трансформации структуры производственной системы.

Систематизация более 30 основных методов планирования горного производства по ключевым характеристикам конкурентоспособности предприятия – производительность, безопасность, эффективность, культура производства и ценность персонала позволила выделить наиболее рациональные методы управления переходными процессами. Предложенная совокупность методов управления переходными процессами обеспечивает получение прогнозируемых результатов развития производственной системы с затратами ресурсов, не превышающими плановые нормативы и с приемлемым уровнем риска.

Разработана методология комплексного планирования горного производства в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия, сущностью которой является определение взаимоувязанных мер, обеспечивающих согласованность взаимодействия персонала, сбалансированность техники, технологии и организации для перевода производственной системы из фактического состояния в требуемое. Методология базируется на модели трансформации структуры производственной системы и основана на разработанных критериях, показателях и методах для планирования горного производства, с установившимися и переходными процессами. Перевод предусматривается циклами, включающими разработку мер, организацию и контроль их исполнения на этапах изменений и закрепления достигнутых результатов на каждом производственном отрезке времени: пятилетка, год, квартал, месяц, неделя, сутки, смена. Использование разработанной методологии позволяет достичь сбалансированности технической, технологической и организационной подсистем производственной системы, что обеспечивает ежегодный дополнительный рост экономической эффективности горного производства в 1,1 – 1,3 раза.

В условиях регионального производственного объединения «СУ-ЭК-Хакасия» применение разработанной методологии комплексного планирования горного производства позволило повысить темпы развития производства в 1,2 – 1,3 раза, эффективность использования оборудования и труда персонала – в 1,5 – 2,0 раза.

Ниже (главы 2 – 7) изложены методы адаптации основных технологических процессов разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений минерального сырья.

Список литературы по главе 1.

1. Васильев М. В. К обоснованию применения комбинированного транспорта для вскрытия и подготовки новых горизонтов карьеров / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев // Открытая разработка рудных месторождений: Технология и транспорт: труды /ИГД Госметаллургкомитета. – Вып. 9. – Свердловск, 1964. – С. 81 – 88.
2. Яковлев В. Л. Составление оптимального плана снабжения обогатительных фабрик рудой с помощью электронно-вычислительной техники / В. Л. Яковлев // Известия вузов. Горный журнал. – 1965. – № 2. – С. 26 – 30.
3. Васильев М. В. Опыт планирования работы карьерного транспорта с использованием математических методов и вычислительной техники / М. В. Васильев, Б. В. Яковенко, В. Л. Яковлев. – М.: Недра, 1966. – 51 с.
4. Яковлев В. Л. Исследование и выбор оптимального режима горно-транспортных работ Баженовских асбестовых карьеров с помощью ЭЦВМ / В. Л. Яковлев // Научные труды / ВНИИпроектасбест. – Вып. 7. – М.: Недра, 1968. – С. 25 – 32.
5. Яковлев В. Л. О методике сравнения и выбора вида карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Перспективы развития карьерного транспорта: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 20. – Свердловск, 1968. – С. 52 – 61.
6. Васильев М. В. Принципы определения момента перехода на новый вид транспорта при разработке глубоких карьеров / М. В. Васильев, В. Б. Демкин, В. Л. Яковлев // Совершенствование карьерного транспорта: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 30. – Свердловск, 1970. – С. 14 – 17.
7. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев; под ред. Н. В. Мельникова. – М.: Наука, 1972. – 202 с.
8. Яковлев В. Л. Методические основы перехода на комбинированные виды транспорта в глубоких карьерах / В. Л. Яковлев, В. М. Попов // Всесоюзная научно-техническая конференция по карьерному транспорту, в 3ч. 1: материалы. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1973. - С. 354 – 356.
9. Яковлев В. Л. Определение момента перехода на новый вид транспорта с использованием модели совмещенных функций / В. Л. Яковлев, В. С. Славинский // Горнорудное производство. Транспорт рудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 43. – Свердловск, 1974. – С. 21 – 24.
10. Исследование целесообразности и рациональных сроков перевода глубоких горизонтов Сарбайского карьера на автомобильно-конвейерный транспорт / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев, В. М. Попов, В. С. Славинский, Г. П. Воробьев, Б. С. Головин, Л. Ф. Филиппова // Горнорудное производство. Транспорт рудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 43. – Свердловск, 1974. – С. 25 – 33.

11. Продолжительность перехода на новые виды транспорта в глубоких карьерах / В. Л. Яковлев, В. М. Попов, Л. Я. Станиславский, Е. Н. Слесарев, В. Е. Грищенко // Горнорудное производство. Совершенствование транспорта рудных карьеров: Труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып.50.– Свердловск, 1976. – С. 11 – 15.
12. Яковлев В. Л. Особенности системного подхода к оптимизации параметров транспортных схем рудных карьеров / В. Л. Яковлев // Горнорудное производство. Совершенствование транспорта рудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – № 50. – Свердловск, 1976. – С. 22 – 27.
13. Особенности формирования транспортной схемы при реконструкции глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, Г. П. Воробьев, В. М. Попов, Л. Ф. Филиппова, В. С. Агеев // Горнорудное производство. Совершенствование транспорта рудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. Вып. 54. – Свердловск, 1977. – С. 61 – 65.
14. Яковлев В. Л. К дифференцированному учету горнотехнических условий при проектировании карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Карьерный транспорт: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 62. – Свердловск, 1980. – С. 6 – 11.
15. Яковлев В. Л. Принципы формирования транспортных систем глубоких рудных карьеров / В. Л. Яковлев // Проблемы транспорта рудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 66. – Свердловск, 1981. – С. 7 – 16.
16. Яковлев В. Л. Исследование закономерностей поэтапного развития горных работ при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев, А. Ф. Калугин // Добыча и обогащение асбестовых руд: научные труды / ВНИИпроектасбест. – Асбест, 1981. – Вып. 23. – С. 14 – 22.
17. Яковлев В. Л. Особенности транспортирования горной массы с глубоких горизонтов рудных карьеров / В. Л. Яковлев // Совершенствование технологии и организации транспортирования горной массы на рудных карьерах: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 70. – Свердловск, 1982. – С. 13 – 17.
18. Яковлев В. Л. Методы учета взаимосвязи решения задач выбора вида транспорта и определения производственной мощности глубоких карьеров / В. Л. Яковлев // Реконструкция транспортных систем глубоких карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 79. – Свердловск, 1987. – С. 48 – 53.
19. Яковлев В. Л. Обоснование стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров / В. Л. Яковлев // Повышение эффективности и надежности транспортных систем железорудных карьеров: труды / ИГД МЧМ СССР. – Вып. 85. – Свердловск, 1988. – С. 6 – 17.
20. Yakovlev V. L. Key questions in development of mineral deposits in the North / S. A. Batugin, V. L. Yakovlev, A. E. Sleptsov // Mining in the Arctic: Proceedings of the international Symposium / Fairbanks, 17-19 July 1989. – Rotterdam: A. A. Balkema, 1989. – P. 51 – 52.

21. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука СО, 1989. – 238 с.
22. Яковлев В. Л. Методический подход к определению периода перехода к подземному способу разработки на кимберлитовых месторождениях / В. Г. Гринев, В. С. Попов, В. Л. Яковлев // Развитие методов проектирования рудников при комплексном освоении месторождений / ИПКОН АН СССР. – М., 1989. – 211 с.
23. Яковлев В. Л. Основные положения стратегии развития горного производства зоны многолетней мерзлоты / В. Л. Яковлев // Развитие производительных сил Сибири и их минерально-сырьевая база: материалы Всесоюзной конференции / СО АН СССР. – Новосибирск: Наука СО, 1990. – 275 с.
24. Дизель-троллейбусный транспорт на карьерах / В. Л. Яковлев, В. П. Смирнов, Ю. И. Лель, Э. В. Горшков. – Новосибирск: Наука СО, 1991. – 104 с.
25. Захаров Ю. А. К вопросу о стратегии развития угледобывающей промышленности Якутии / Ю. А. Захаров, В. Л. Яковлев, М. И. Бычев // Уголь. – 1991. – № 1. – С. 26 – 27.
26. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев; [отв. ред. и авт. предисл. Е. Н. Чемезов]; ИГДС СО РАН. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
27. Яковлев В. Л. Специализированные автосамосвалы для транспортных систем глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, В. П. Смирнов // Горный журнал. – 1993. – № 7. – С. 23 – 27.
28. Яковлев В. Л. Особенности освоения минерально-сырьевых ресурсов Якутии на современном этапе / В. Л. Яковлев, С. А. Батугин // Горное дело: проблемы и перспективы: сборник статей / ИГДС СО РАН. - Якутск, 1994.- С. 24 – 39.
29. Яковлев В. Л. О новых подходах к развитию теории и практики открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Горное дело: проблемы и перспективы: сборник статей / ИГДС СО РАН. - Якутск, 1994. - С. 190 – 198.
30. Яковлев В. Л. Технология разработки глубоких горизонтов карьеров в многолетнемерзлых породах с крутыми бортами / В. Л. Яковлев, А. Д. Андросов, К. Н. Саввинов // Горное дело в Арктике: тезисы III Международного симпозиума / СП ГГИ (технический университет). – СПб., 1994. – С. 58
31. Яковлев В. Л. Новые технологии для открытого и подземного способа разработки в зоне многолетнемерзлых пород / В. Л. Яковлев // Горное дело в Арктике: тезисы III Международного симпозиума / СП ГГИ (технический университет). – СПб., 1994. – С. 59.
32. Яковлев В. Л. Принципы перехода на безэтапную отработку глубоких алмазодобывающих карьеров Якутии / В. Л. Яковлев, А. Д. Андросов, К. Н. Саввинов // Горный журнал.-1996.- № 7-8. – С. 13 – 16.

33. Яковлев В. Л. Интегрирование геотехнологических процессов / В. Л. Яковлев, Б. М. Корюкин // Проблемы горного дела: сб. научных трудов / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 1997. – С. 221 – 231 – 232.
34. Яковлев В. Л. К вопросу об оценке стоимости минеральных ресурсов в недрах / В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин // Минеральные ресурсы России. – 1997. – № 5. – С. 36 – 38.
35. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К. Н. Трубецкой, Ю. Н. Малышев, Л. А. Пучков, ... В. Л. Яковлев [и др.]. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.
36. Яковлев В. Л. Развитие систем ЦПТ с крутонаклонным конвейерным подъемом – эффективный путь разработки глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, А. П. Тюлькин, Г. Д. Кармаев // Проблемы горного дела: сб. научных трудов / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 1997.- С. 194 – 206.
37. Новые подходы к поэтапному проектированию и отработке глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, А. В. Зубков, М. Г. Саканцев, Э. П. Артемьев // Открытые горные работы: научно-техн. спец. журн. – 1999. – Пилотный номер. – С. 57–59.
38. Яковлев В. Л. О стратегии и методах формирования карьерного пространства в условиях рынка/ В. Л. Яковлев // Уральский горнопромышленный съезд, Пятый (XXVI): сборник сокр. докладов и выступлений (20–25 июня 1999 г. Оренбург). – Оренбург: [б. и.], 1999. - С. 92 – 97.
39. Яковлев В. Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала/ В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин, Н. Л. Стахеев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 279 с.
40. Яковлев В. Л. Стратегия формирования карьерного пространства / В. Л. Яковлев, А. В. Зубков, М. Г. Саканцев // Развитие новых научных направлений и технологий освоения недр Земли: материалы юбилейной сессии ОГГТГН РАН, (24-26 нояб. 1999г., г. Москва). – М.: ННЦ ГП - ИГД им. А.А. Скочинского, 2000. - С. 176 – 186.
41. Яковлев В. Л. Новые алгоритмы в индукционном методе контроля качества железорудного сырья в конвейерных потоках / В. Л. Яковлев, О. Н. Молчанов, А. Т. Марков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 2. – С. 78 – 86.
42. Яковлев В. Л. Развитие идей Е. Ф. Шешко по теории вскрытия карьерных полей / В. Л. Яковлев// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. - № 12. – С. 117 – 121.
43. Яковлев В. Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В. Л. Яковлев, А. В. Гальянов. – 2-е изд. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – 152 с.

44. О фундаментальных проблемах освоения месторождений полезных ископаемых России и основных направлениях развития горных наук / Н. Н. Мельников, В. Н. Опарин, М. Д. Новопашин, В. Л. Яковлев, Ю. А. Мамаев, В. П. Потапов // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: труды конференции с участием иностранных ученых: Т.1. Геотехнологии. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2007. – С. 5 – 23.
45. Яковлев В. Л. Разработка государственной стратегии развития и освоения недр России - основа геополитической и экономической безопасности страны / В. Л. Яковлев // Горная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 62 – 64.
46. Яковлев В. Л. Методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Отдельный выпуск № 15: Дальний Восток 2. – С. 22 – 31.
47. Яковлев В. Л. Формирование научной школы и развитие исследований в области карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // [Уральский] горнопромышленный съезд, 10-й.: научно-техническая конференция "Геотехнологические проблемы комплексного освоения. – Екатеринбург, 2009. – (1 диск Уральское горное обозрение, 2009).
48. Яковлев В. Л. Технологическая необходимость создания транспорта для обработки прибортовых и подкарьерных запасов / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев // Перспективы развития карьерного транспорта: материалы научно-технической конференции(г. Жодино, 23 апр. 2010 г.) //Жодино: ОАО «Белорусский автомобильный завод», 2010. – С. 110 – 118.
49. Яковлев В. Л. Новые специализированные виды транспорта для горных работ / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев; Институт горного дела УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 376 с.
50. Корнилков С. В. Геотехнологические основы энерго- и ресурсосбережения при открытых горных разработках/ С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев //Горный информационно-аналитический бюллетень. – Отд. вып. № 11. Проблемы недрапользования. – 2011. – С. 9–19. – (Программа фонд. исслед. ОНЗ РАН).
51. Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях на основе модернизации техники и технологии горного производства / А. И. Татаркин, С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, Е. А. Орлова // Экономика региона. – 2012. – № 4. – С. 80 – 92. – (Программа РАН № 34 «Прогноз потенциала инновационной индустриализации России»).
52. Трубецкой К. Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К. Н. Трубецкой, С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 15 – 19. – (Программа ОНЗ РАН «Прогноз технология развития в горнодоб. отраслях ...»).

- Технологические и конструктивные основы повышения уклонов карьерных автодорог / В. Л. Яковлев, П. Л. Мариев, П. И. Тарасов, В. Т. Войтов, А. Г. Журавлев // Горный журнал. - 2012. - № 1. - С. 78 – 81. – (ЦП ИГД УрО РАН – ОИМ НАН Беларуси).
53. Яковлев В. Л. Методологические особенности освоения недр на современном этапе / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек. – 2013. – № 4. – С. 11 – 19.- (Программа № 27 Президиума РАН).
54. Яковлев В. Л. Исторический опыт развития научных идей методологических подходов к обоснованию технологий, параметров горных работ/ В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 15 – 26. – DOI: 10.18454/2313-1586.2014.03.015.
55. Яковлев В. Л. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров / В.Л. Яковлев, А.М. Галкин, Р.М. Гусев; под ред. В.Л. Яковлева// Екатеринбург: УрО РАН. – 2014. – 105 с.
56. Яковлев В.Л. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности / С.В. Корнилков, В.Л. Яковлев // Горный журнал. – 2015. – № 1. - С. 4 – 5.
57. О моменте ввода циклично-поточной технологии на карьерах // В.Л. Яковлев, Г.Д. Кармаев, В.А. Берсенов, И.Г. Сумина // Известия вузов. Горный журнал. – №3. – 2015. – С. 4–11.
58. Яковлев В.Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов. // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015 –(специальный выпуск № 30). – 2015.– С. 22 – 35.
59. Яковлев В.Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / Открытые горные работы в XXI веке – 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Специальный выпуск №45-1. – 2015. – С. 65 – 76.
60. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к формированию транспортных систем карьеров при разработке сложноструктурных месторождений/ В. Л. Яковлев, В. А. Яковлев //Проблемы недропользования. – 2016. – № 1. – С. 65–70. – DOI: 10.18454/2313-1586.2016.01.065.
61. Исследование влияния переходных процессов на эксплуатационные показатели транспортных систем глубоких карьеров / В.Л. Яковлев, Г.Д. Кармаев, В.А. Берсенов, И.Г. Сумина, В.А. Яковлев // Проблемы недропользования, 2016. – №4. – С. 51–61.
62. Яковлев В.Л. Развитие организационно-технологической структуры угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов / В.Л. Яковлев,

- А.Б. Килин, В.А. Азев, Г.Н. Шаповаленко // Развитие угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – Специальный выпуск 34. – С. 8 – 17.
63. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2017. - № 2. – С. 5–14. – DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.112. – (Статья подготовлена с использованием результатов исслед. в рамках Госзадания 007-01398-00, по теме № 0405-2015-0010).
 64. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / В.Л. Яковлев, И.В. Соколов, Г.Г. Саканцев, И.Л. Кравчук // Горный журнал, 2017. – №7. – С. 46–50.
 65. Яковлев В.Л. Особенности методологических подходов к исследованию, проектированию и планированию развития горнотехнических систем при освоении запасов месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Специальный выпуск 24. – 2017. – С. 138 – 145.
 66. Яковлев В.Л. Эффективность переходного процесса при комбинированной разработке рудных месторождений / В. Л. Яковлев, И. В. Соколов // Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности-2017 : сборник докладов третьей российской конференции, (г. Челябинск, 19 октября 2017 г.). – Челябинск: ООО «Сеймартек», 2017. – С. 28–29.
 67. Азев В. А. Методология комплексного планирования горного производства в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия: автореф. дис. ... док.техн. наук / В. А. Азев; ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2018. – 29 с.
 68. Яковлев В.Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев. С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; под ред. член-корр. РАН В.Л. Яковлева. - Екатеринбург: УрО РАН, 2018. – 360 с.
- Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к оценке минерально-сырьевого потенциала регионов Арктической зоны / В. Л. Яковлев, В. А. Яковлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 49 – 57. – DOI: 10.31242/2618-9712-2018-24-2-49-57.
69. Яковлев В.Л. Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В.Л. Яковлев, В.А. Яковлев // Известия вузов. Горный журнал. – 2018. – №6 – С. 118–126.
 70. Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологического подхода к решению проблем комплексного ос-

воения георесурсов / Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы VII Международной научной конференции, (г. Хабаровск, 25-27 сентября 2018 г.). – Хабаровск, 2018. - doi.org/10.1051/e3sconf/20185604001.

71. Особенности современного подхода к выбору технологического транспорта для алмазородных карьеров Якутии / В. Л. Яковлев, И. В. Зырянов, А. Г. Журавлев, В. А. Черепанов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2018. – № 6. – С. 109 – 119. – DOI: 10.15372/FTPRPI20180611.
- Яковлев В.Л. Требования к системе обеспечения безопасности в условиях переходных процессов на горнодобывающем предприятии / В.Л. Яковлев, И.Л. Кравчук, Е.М. Неволлина, Ю.М. Иванов // Уголь. – 2018. – № 7. – С. 26 – 30. – DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-7-26-30>.
72. Развитие организационно-технологической структуры угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов / В. Л. Яковлев, А. Б. Клилин, В. А. Азев, Г. Н. Шаповаленко // Развитие угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – Специальный выпуск 34. – С. 8 – 19.
73. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением многоступенчатых крутонаклонных временно неработающих бортов карьеров / В. Л. Яковлев, Г. Г. Саканцев, А. В. Яковлев, Т. М. Переход // Проблемы недропользования. - 2018. – № 4. – С. 5–12. – DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.005.
74. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов - новое направление в развитии методологического подхода к решению проблем комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев // Проблемы комплексного освоения Георесурсов: 7 Международная научная конференция, (Хабаровск, 25-27.09.2018). – 2018. – doi.org/10.1051/e3sconf/20185604001.
75. Яковлев В.Л. Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия / В.Л. Яковлев, В.А. Азев, А.М. Макаров // Челябинск: АБРИС, 2019. – 164 с.
76. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М.: Недра, 1972. – 149 с.
77. Королев Ю.И. Роль попутных компонентов при оценке промышленной значимости комплексных руд цветных металлов / Ю. И. Королев, Л. В. Боброва. – М.: ВИЭМС, 1983. – 68 с. – (Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. Обзор. информ. ВНИИ экономики минер. сырья и геол.-развед. работ).
78. Геолого-экономическая оценка состояния и перспектив комплексного использования месторождений черных металлов / Ю.И. Королев, Л.З. Быховский, Л.В. Боброва, А.А. Сергеева. – М.: ВИЭМС, 1987. – 63 с. – (Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. Обзор. информ. ВНИИ экономики минер. сырья и геол.-развед. работ).

ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВСКРЫТИИ И ФОРМИРОВАНИИ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

2.1. Исследование условий и эффективности разработки месторождений с применением крутых уклонов

Исследования по формированию выработанного пространства глубоких рудных карьеров должны быть направлены на наиболее перспективные месторождения, подлежащие первоочередному освоению. К таким месторождениям, в первую очередь, относятся стратегически важные месторождения Урала, Сибири и Дальнего Востока. Они характеризуются большим разнообразием горно-геологических и горнотехнических условий. Это относится практически ко всем видам минерального сырья, включая марганец, титан, алюминий, медь, цинк, свинец и другие стратегически важные полезные ископаемые. Во всех этих полезных ископаемых Россия либо испытывает дефицит, либо будет его испытывать в ближайшем будущем. Необходимо иметь достаточно хорошее представление о наличии таких полезных ископаемых на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке и о возможностях и условиях их освоения.

Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы отечественной металлургии [1] показал, что наиболее перспективными месторождениями являются глубокозалегающие месторождения и залежи округлой формы, разработка которых связана с большими объемами вскрышных работ. Это требует применения инновационного подхода к их освоению, в том числе применения крутых уклонов вскрывающих выработок, крутонаклонных временно нерабочих бортов и других ресурсосберегающих технологий. При этом большая роль отводится способам, обеспечивающим сокращение вскрышных работ, в том числе сокращение объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок.

2.1.1. Определение объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок

Проблема дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок является одной из наиболее актуальных проблем разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Объемы дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок на глубоких карьерах составляют миллионы и десятки миллионов кубометров вскрышных пород. Это обусловлено тем, что размещение вскрывающих выработок ведет к выполаживанию бортов карьеров по сравнению с их устойчивыми значениями.

Объем вскрывающих внутренних выработок (съездов) обычно определяется по формуле:

$$V_{\text{в}} = \frac{0,5H_{\text{в}}^2 B_{\text{тр}} k_{\text{рТ}}}{i_{\text{в}}}, \quad (2.1)$$

где $H_{\text{в}}$ – глубина вскрытия, м; $B_{\text{тр}}$ – ширина вскрывающих выработок (съездов), м; $k_{\text{рТ}}$ – коэффициент развития трассы; $i_{\text{в}}$ – уклон вскрывающих выработок, %.

При криволинейной форме борта объем дополнительного разноса можно определить по формуле:

$$V_{\text{о}} = 0,5L_{\text{р}} H_{\text{в}} B_{\text{тр}}, \quad (2.2)$$

где $L_{\text{р}}$ – длина разноса борта по поверхности, необходимая для ввода вскрывающих выработок на глубину $H_{\text{в}}$, м.

При спиральной форме трассы длина разноса борта многократно возрастает. В этом случае она может быть определена по формуле:

$$L_{\text{р}} = L_{\text{п}} \frac{\tau}{2\pi}, \quad (2.3)$$

где $L_{\text{п}}$ – периметр карьера по поверхности, м; τ – угол, описываемый трассой, радиан.

Угол, описываемый трассой, определяется по формуле логарифмической спирали [4] :

$$\tau = \frac{2\pi(\lg \rho_o - \lg \rho_n)}{\lg \xi}, \quad (2.4)$$

где ρ_o – полярный радиус начала съезда, м; ρ_n – полярный радиус конца съезда, м; ξ – безразмерный коэффициент роста логарифмической спирали.

$$\xi = e^{2\pi t g k}, \quad (2.5)$$

где k – угол между прямой, проходящей через центр спирали, и касательной к спирали в точке пересечения этой прямой со спиралью.

Угол касательной к логарифмической спирали определяется по формуле:

$$\arccos k = \frac{\rho_o - \rho_n}{S_c}, \quad (2.6)$$

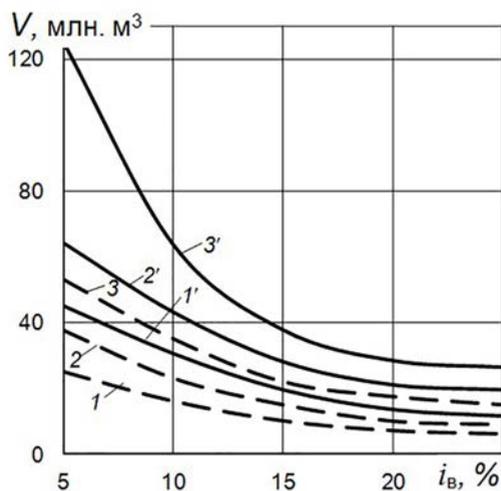
где S_c – длина пути логарифмической спирали, представляющая собой длину трассы L_B , м.

$$S_c = \frac{H_B \cdot 100 \cdot k_{пр}}{i_B}. \quad (2.7)$$

При петлевой, тупиково-поступательной или другой сложной криволинейной форме трассы длина разноса борта определяется через сумму отдельных L , рассчитанных для простых участков трассы. Для прямолинейных участков она находится по формуле (2.1), для криволинейных – соответственно по формулам (2.2) – (2.7) (где τ – сумма углов криволинейных участков трассы). В этом случае показатели, входящие в формулы (2.2) – (2.7), устанавливаются либо аналитически, либо графически.

Кривизна борта в плане существенно влияет на объем его дополнительного разноса: чем меньше радиус кривизны борта, тем больше дополнительный разнос. Это можно видеть из рисунка 2.1, на котором пред-

ставлена зависимость объема дополнительного разноса бортов от уклона вскрывающих выработок.

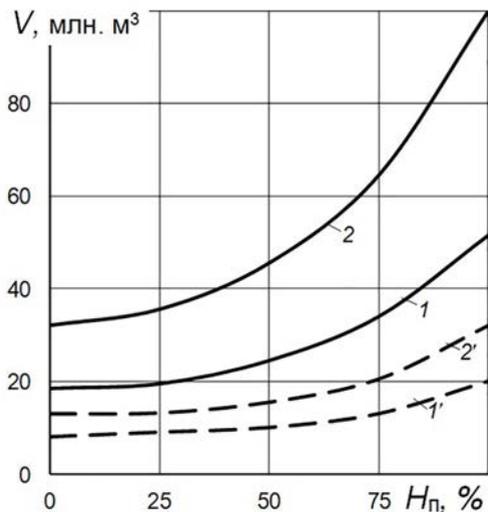


1, 1' – H_к = 200 м; 2, 2' – H_к = 300 м; 3, 3' – H_к = 400 м; 1, 2, 3 – прямой борт; 1', 2', 3' – криволинейный борт с радиусом закругления по дну 25 м

Рисунок 2.1 – Зависимость дополнительного объема вскрышных работ для размещения вскрывающих выработок от их уклона

На глубоких карьерах доля криволинейных участков бортов, как правило, превышает 50 – 60%. Соответственно, объем дополнительного разноса бортов составляет значительную величину и ведет к резкому ухудшению эффективности открытых горных работ. Поэтому необходимо стремиться размещать вскрывающие выработки, по возможности, на прямолинейных участках бортов и применять другие меры уменьшения объемов их дополнительного разноса. Такими мерами являются увеличение уклонов вскрывающих выработок, особенно при большой кривизне борта.

Область применения крутых уклонов зависит от многих факторов, в первую очередь, от величины сокращаемых объемов вскрышных работ и влияния уклона вскрывающих выработок на себестоимость транспортирования. Наибольшее сокращение объемов дополнительного разноса бортов обеспечивает применение крутых уклонов на нижних горизонтах карьеров (рис. 2.2).



1, 1' – $H_k = 300$ м; 2, 2' – $H_k = 400$ м; 1, 2 – $L_d = 50$ м; 1', 2' – $L_d = 500$ м

Рисунок 2.2 – Зависимость объема дополнительного разгона бортов от глубины перехода на крутые уклоны (с 8 на 24%)

Экономия при вскрытии нижних горизонтов с применением крутых уклонов достаточно существенная. Гипотетически крутые уклоны могут найти применение в основном в следующих случаях:

- при большой кривизне бортов;
- при большой глубине расположения вскрываемых объемов;
- при небольшой величине обрабатываемых объемов;
- при применении новых транспортных средств.

Для увеличения уклонов в два – три раза против применяемых в настоящее время на карьерах существуют реальные возможности. Это подтверждается опытом эксплуатации карьерного автотранспорта. На большинстве карьеров максимальные значения уклонов запроектированы в пределах 7 – 8%. Но имеется целый ряд исключений. Так, на отдельных участках автодорог уклоны на карьерах цветной металлургии достигают 10 – 11%, на карьерах железорудной промышленности – 10 – 12% и более [5]. От 4 до 12% участков автодорог на карьерах имеют уклоны более 10%. В частности, на Сибайском карьере уклоны от 10 до 18% имеют 8% автодорог, на Михайловском

ГОКе – 12%, на Северо-Западном карьере Азербайджанского ГОКа – 30%. На карьере Мирный АК «Алроса» протяженность участков с уклонами 9 – 12% составляет 970 м, или 23,4% общей длины съездов.

На сборочном автомобильном транспорте максимальный уклон отдельных участков трасс достигает 12 – 16%. При этом существует общая закономерность увеличения уклонов с увеличением глубины карьеров. Так, на Сибайском карьере при увеличении глубины разработки со 105 до 245 м уклон дорог повысился с 4,4 до 6,6%, длина участков с уклонами 8 – 12% за этот период повысилась в 6,7 раза.

Крутые уклоны регламентируются существующими нормативными документами. Так, «Нормами технологического проектирования карьеров черной металлургии» для автосамосвалов с колесными формулами 4×4 и 6×6 для карьерных автодорог допускаются уклоны 17% для дорог со щебеночным покрытием и 14 – 15% для дорог с грунтовым покрытием. В свою очередь, СНИП 2.05.07-85 для аналогичных условий устанавливает соответственно уклоны 18 и 13 – 14%.

Теоретические и экспериментальные исследования технических возможностей специализированных полноприводных автосамосвалов с колесной формулой 4×4 позволили рекомендовать для постоянных дорог уклон 12 – 15% и для временных дорог – 10 – 12% [5]. Удельная мощность таких автосамосвалов должна быть не ниже 7 – 8 кВт/т.

Наиболее эффективным транспортным средством для работы на крутых уклонах являются созданные в последние годы автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой, хотя возможности их еще требуют уточнения [2].

2.1.2. Определение глубины перехода вскрывающих выработок на крутые уклоны

Снижение объемов дополнительного разноса бортов карьеров на основе увеличения уклонов вскрывающих выработок, с одной стороны, обеспечивает снижение затрат на вскрышные работы, с другой – ведет к увеличению транспортных расходов, связанных с применением крутых уклонов [3, 4]. Поэтому необходимо установление взаимосвязи всех факторов, определяющих эту технологию, и использование полученных результатов для принятия оптимальных решений.

В качестве объектов для исследования и установления зависимостей параметров карьера предусмотрена разработка крутопадающей залежи месторождения округлой формы и углом падения 90 градусов. К рассмотрению принято три варианта карьера с изменяющимися его параметрами: глубины (240, 400 и 500 м), угла наклона рабочего борта φ (9, 18 и 27 градусов) и уклона вскрывающих выработок (8, 16 и 24%). Устойчивый угол (угол без учета дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок) наклона нерабочего борта принят 45 градусов.

Для каждого варианта горных работ предусмотрен определенный процесс формирования карьерного пространства, в том числе переход с уклона вскрывающих выработок 8% на 16% (схема вскрытия I), с уклона 8% на 24% (схема вскрытия II) и с уклона 8% на 16%, затем на уклон 24% (схема вскрытия III). В каждой схеме вскрытия предусмотрено по пять вариантов распределения уклона по глубине карьера. С этой целью карьер по глубине разбит на пять этапов (рис. 2.3).

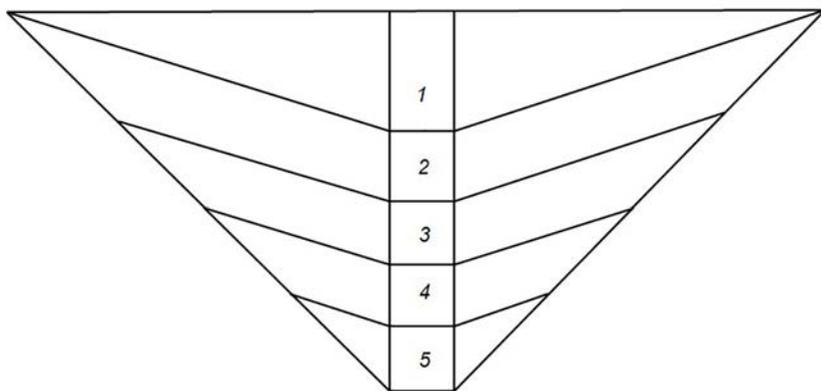


Рисунок 2.3 – Этапы формирования карьерного пространства

Первый этап включает выемку объемов горных пород, включая руду и вскрышу, от начала разработки месторождения до подхода рабочего борта к его предельному контуру по поверхности. Остальная часть карьерного пространства разделена по глубине на четыре равных этапа (2 – 5), которым соответствует тот или иной уклон, предусмотренный в схеме. При этом во

всех вариантах границ карьера на первых этапах предусмотрен уклон 8%, так как в них величина уклона не влияет на дополнительный разнос нерабочих бортов карьера. Дополнительный разнос бортов по поверхности (ΔR), необходимый для размещения вскрывающих выработок при разных схемах вскрытия и вариантах распределения уклонов по этапам формирования карьерного пространства, приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Значения дополнительного разноса бортов по поверхности карьера по вариантам его вскрытия при угле наклона рабочего борта $\varphi = 18^\circ$

Схема вскрытия	Вариант распределения уклонов по этапам	Распределение уклонов (%) по этапам формирования карьерного пространства					Дополнительный разнос бортов по поверхности, (ΔR), м		
		Этапы					Глубина карьеров, м		
		1	2	3	4	5	240	400	560
I	1	8	8	8	8	8	130	158	177
	2	8	8	8	8	16	100	109	119
	3	8	8	8	16	16	76	90	98
	4	8	8	16	16	16	65	77	86
	5	8	16	16	16	16	56	69	77
II	1	8	8	8	8	8	130	158	177
	2	8	8	8	8	24	82	94	100
	3	8	8	8	24	24	57	68	74
	4	8	8	24	24	24	44	52	57
	5	8	24	24	24	24	33	40	45
III	1	8	16	16	16	16	56	69	77
	2	8	16	16	16	24	45	53	58
	3	8	16	16	24	24	37	47	52
	4	8	16	24	24	24	36	43	48
	5	8	24	24	24	24	33	40	45

Порядок распределения уклонов по этапам горных работ в принятых для сравнения схемах вскрытия предполагает варьирование значений уклонов по этапам. Так, в схеме вскрытия I возможен вариант с распределением уклонов 8-8-8-8-8 (вариант 1), 8-8-8-8-16 (вариант 2), 8-8-8-16-16 (вариант 3), 8-8-16-16-16 (вариант 4), 8-16-16-16-16 (вариант 5).

Для этапов с уклоном 8% предусмотрено применение автосамосвалов грузоподъемностью 120 т, для этапов с уклоном 16% – автосамосвалов 75 т, для этапов с уклоном 24% – автосамосвалов с шарнирно-сочлененными рамами грузоподъемностью 30 – 40 т. Ширина съездов, соответственно, принята равной 30, 26 и 23 м. В процессе исследований рассмотрено 135 вариантов вскрытия карьеров. Для каждого варианта определены объемы вскрышных работ с учетом дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, определены расстояния перевозки горной массы в карьере в рабочей зоне и по борту до выхода на поверхность, проведена экономическая оценка вариантов.

В основу определения объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок заложен аналитический метод, позволяющий оперативно с высокой точностью решать поставленную задачу [4].

Исследования, проведенные на основе аналитического способа определения разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, показали, что дополнительный разнос бортов в значительной степени зависит от глубины карьера, величины уклонов вскрывающих выработок и расположения их по глубине карьера. В целом, объем дополнительного разноса бортов увеличивается с увеличением глубины карьеров и уменьшается с увеличением уклона вскрывающих выработок (табл. 2.1).

Объем первого этапа карьера с учетом дополнительного разноса его бортов определяется по формуле:

$$V_n = \frac{\pi}{3} (R_{yn} + \Delta R_n)^3 \operatorname{tg} \varphi, \text{ м}^3, \quad (2.8)$$

где $R_{yn} + \Delta R_n$ – радиус борта карьера по поверхности по условиям устойчивости и соответствующая величина его дополнительного разноса, необходимая для размещения вскрывающих выработок, м, φ – угол откоса рабочего борта карьера, град.

Объемы остальных этапов могут быть определены, считая снизу, по выражению:

$$V_n = \frac{\pi}{3} (R_{yn} + \Delta R_n)^2 (\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \varphi) R_n - \sum_{i=1}^{n-1} V_i, \text{ м}^3, \quad (2.9)$$

здесь $R_{yn} + \Delta R_n$ – радиус n-го этапа по верху и величина его дополнительного разноса, м, γ – угол откоса нерабочего борта карьера, град.

Результаты определения объема карьеров по (4, 5) показывают (табл. 2.2), что увеличение уклона вскрывающих выработок до 20 – 24% (при $\varphi = 18^\circ$) обеспечивает сокращение объемов на 20 – 40%. Последние зависят также от глубины перехода на эти уклоны (рис. 2.4).

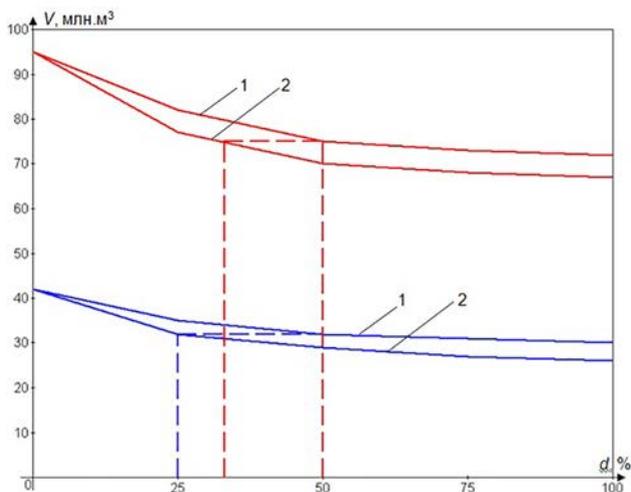
Таблица 2.2 – Объемы карьеров по вариантам вскрытия месторождения при угле наклона борта карьера $\varphi = 18^\circ$

Схема вскрытия	Вариант распределения уклонов по этапам	Объемы карьеров, млн м ³		
		Глубина карьера, м		
		240	400	560
I	1	49,4	165,2	380,3
	2	42,5	139,2	325,7
	3	37,3	129,8	306,4
	4	35,0	123,5	296,5
	5	33,2	120,0	288,7
II	1	45,4	157,7	363,3
	2	38,5	131,7	308,7
	3	33,4	119,2	282,8
	4	30,9	111,8	271,9
	5	28,8	106,4	262,1
III	1	33,2	119,7	288,7
	2	31,1	112,3	272,8
	3	29,5	109,6	267,8
	4	29,1	107,8	264,5
	5	28,8	106,4	262,1

Из рис. 2.4 видно, что при глубине карьера 560 м объем перехода с уклона 8% на 24% на глубине 50% соответствует объему при переходе с уклона 8% на 16% на глубине 33%.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости детального исследования трудозатрат по транспортированию горной массы в изменяющихся условиях эксплуатации карьера, учета всего объема горных работ и распределения их по времени обработки месторождений. С этой целью

была произведена экономическая оценка всех рассмотренных вариантов вскрытия месторождений на основе расчета прямых и дисконтированных затрат [5 – 7].



— глубина карьера 560 м; — глубина карьера 400 м; 1 – схема вскрытия I (8 – 16); 2 – схема вскрытия II (8 – 24).

Рисунок 2.4 – Зависимость объемов горной массы в границах карьеров V от удельного веса крутых уклонов d

При этом в качестве экономического критерия оптимального решения принят минимум дисконтированных затрат на разработку месторождений:

$$Z = \sum_{i=1}^N C_{6/т} (V + Q)_i + \sum_{i=1}^y \frac{C_i B_i}{Y_i K_{пр}}, \text{ – руб.} \rightarrow \min, \quad (2.10)$$

где V, Q – соответственно объем вскрышных и добычных работ при обработке карьера в зоне применения i -го уклона, м^3 ; $C_{6/т}$ – бестранспортная составляющая себестоимости выемки горной массы, м^3 ; C_i – себестоимость перевозки горной массы при i -м уклоне, $\text{руб./м}^3\text{км}$; B_i – высота подъема горной массы в зоне применения i -го уклона, м ; Y – число зон с разными уклонами; Y – уклон транспортных коммуникаций, $\%$; $K_{пр}$ – коэффициент развития трассы при применении i -го уклона, б/р .

В качестве исходных стоимостных показателей для экономической оценки вариантов приняты фактические данные действующих предприятий-аналогов в масштабе цен 2005 года, скорректированные по результатам проектных работ и научных исследований последних лет [8]. Себестоимость транспортирования горной массы для уклона 8% установлена 14 руб./м³км, для уклона 16% – 34 руб./м³км, для уклона 24% – 63 руб./м³км. Бестранспортная составляющая себестоимости горной массы принята 68 руб./м³.

Все расчеты по экономической оценке вариантов произведены исходя из условия, что специализированные транспортные средства способны работать на крутых уклонах, должны применяться и в частях рабочей зоны, примыкающих к крутым уклонам нерабочих бортов. Это обусловлено тем, что для большегрузных транспортных средств, способных выполнять перевозки при уклонах 8%, невозможно обеспечить оперативную транспортную связь с поверхностью по крутым вскрывающим выработкам, что является существенным недостатком применения крутых уклонов.

В результате статистической обработки результатов оценки получены значения дисконтированных затрат по этапам разработки для каждого принятого к оценке варианта горных работ с изменяющимися параметрами: конечной глубины карьера, наклона рабочего борта и схемы вскрытия (табл. 2.3). Из данных таблицы видно, что величина дисконтированных затрат зависит от номера этапа разработки «n», характеризующей глубину перехода на крутой уклон (16 и 24%). Однако использование порядкового номера этапа в качестве аргумента для определения дисконтированных затрат даст только приближенное значение искомых величин, особенно при большой глубине карьера, и соответственно, его отдельных этапов. Чтобы определить реальное значение этой величины, необходимо перейти к конкретной глубине. Для этого достаточно взять первые производные от установленных зависимостей $Z = f(n)$ и использовать их для выявления целесообразной глубины перехода на крутые уклоны. Уточненная глубина перехода на крутой уклон по предельному борту карьера может быть определена по условию:

$$H_{II} = 25(5 - x^I), \% \quad (2.11)$$

Таблица 2.3 – Величина дисконтированных затрат на отработку месторождения по глубине перехода на вскрывающие выработки с крутыми уклонами

Глубина карьера, м	Угол наклона рабочего борга, град.	Схема вскрытия	Зависимость дисконтированных затрат от порядкового номера этапа $Z = f(n)$	Первая производная x' зависимости $Z = f(n)$	Глубина перехода на крутой уклон, %	Дисконтированные затраты, млн руб.
240	9	I	$Z = 2,8 - 0,114n + 0,25n^2$ (1.13)	5,7	0	1,98
		II	$Z = 2,69 - 0,342n + 0,031n^2$ (1.14)	5,52	0	1,757
		III	$Z = 3,32 - 0,904n + 0,119n^2$ (1.15)	3,8	30	1,604
	18	I	$Z = 2,8 - 0,307n + 0,021n^2$ (1.16)	7,3	0	1,79
		II	$Z = 2,8 - 0,5n + 0,0514n^2$ (1.17)	4,79	5	1,68
		III	$Z = 3,49 - 1,0n + 0,131n^2$ (1.18)	3,81	30	1,59
	27	I	$Z = 2,96 - 0,477n + 0,0429n^2$ (1.19)	5,56	0	1,65
		II	$Z = 2,052 - 0,295n + 0,034n^2$ (1.20)	4,3	17	1,461
		III	$Z = 3,434 - 1,152n + 0,156n^2$ (1.21)	3,69	33	1,307
400	9	I	$Z = 8,566 - 1,116n + 0,12n^2$ (1.22)	4,65	9	5,972
		II	$Z = 9,024 - 1,569n + 0,182n^2$ (1.23)	4,37	17	5,643
		III	$Z = 10,076 - 2,555n + 0,344n^2$ (1.24)	3,71	32	5,332
	18	I	$Z = 9,49 - 2,123n + 0,204n^2$ (1.25)	4,0	25	5,218
		II	$Z = 9,82 - 2,54n + 0,82n^2$ (1.26)	3,97	25	4,78
		III	$Z = 10,54 - 3,22n + 0,433n^2$ (1.27)	3,72	32	4,55
	27	I	$Z = 8,868 - 1,727n + 0,2n^2$ (1.28)	4,31	17	5,143
		II	$Z = 9,212 - 2,614n + 0,327n^2$ (1.29)	4,0	25	4,688
		III	$Z = 10,644 - 3,418n + 0,467n^2$ (1.30)	3,67	33	4,39
560	9	I	$Z = 18,188 - 2,907n + 0,375n^2$ (1.31)	4,62	10	12,247
		II	$Z = 16,078 - 1,785n + 0,199n^2$ (1.32)	4,48	13(50 ^а)	12,514
		III	$Z = 15,91 - 2,791n + 0,352n^2$ (1.33)	3,96	26(50 ^а)	10,705
	18	I	$Z = 18,834 - 3,668n + 0,426n^2$ (1.34)	4,3	18	10,99
		II	$Z = 17,762 - 3,6n + 0,447n^2$ (1.35)	4,03	24(50 ^а)	10,985
		III	$Z = 16,226 - 3,39n + 0,454n^2$ (1.36)	3,73	32(50 ^а)	10,142
	27	I	$Z = 18,43 - 3,747n + 0,435n^2$ (1.37)	4,3	18	10,351
		II	$Z = 17,41 - 3,769n + 0,489n^2$ (1.38)	3,85	29(50 ^а)	10,424
		III	$Z = 15,526 - 3,212n + 0,436n^2$ (1.39)	3,68	33(50 ^а)	10,108

50^а – по провозной способности вскрывающих выработок, где x' – первая производная статистической зависимости.

В свою очередь, минимальные дисконтированные затраты, соответствующие этим уточненным глубинам перехода на крутые уклоны, должны определяться по зависимостям исходя из значения первой производной $x/$. При этом, также должна учитываться провозная способность вскрывающих выработок [7], которая для схем вскрытия II (8–24) и III (8–16–24) при глубине карьеров 560 м в данном случае составила 50%. Откорректированные значения минимальных дисконтированных затрат по исследуемым вариантам, приведенные в табл. 2.3, свидетельствуют о том, что при глубине карьеров 240 и 400 м глубина перехода на крутые уклоны в значительной степени зависит от величины уклона. Так, в схеме I уклон 16% целесообразно размещать, начиная непосредственно с поверхности, что обусловлено его низкой эффективностью по уменьшению дополнительного разноса борта для размещения вскрывающих выработок. Увеличение глубины перехода на уклон 24% в схемах II и III объясняется его более высокой эффективностью. Что касается глубины карьера 560 м, то в этом случае увеличение глубины ввода уклона 24%, как сказано выше, определяется провозной способностью вскрывающих выработок. Всё это отражается на дисконтированных затратах на ведение горных работ. Так, при глубине карьера 240 м наименьшие дисконтированные затраты обеспечивают практически равноценные схемы вскрытия II и III, которые по сравнению со схемой I обеспечивают экономический эффект более чем на 10%. Но картина значительно меняется с увеличением глубины карьеров. При глубине 400 и 560 м наиболее эффективной однозначно становится схема III. Так, при глубине карьера 400 м она, по сравнению с карьером глубиной 240 м, обеспечивает снижение дисконтированных затрат более чем на 8%, при глубине карьера 560 м – порядка 5%. То есть, во всех случаях схема с неоднократно меняющимся уклоном, обеспечивая снижение объемов дополнительного разноса борта, приводит к увеличению экономического эффекта, что может оказать решающее влияние на конечный результат.

Таким образом, наиболее целесообразной схемой вскрытия для всех рассмотренных глубин карьеров является схема с последовательным увеличением уклона вскрывающих выработок вида III, предполагающая отработку месторождения по следующему сценарию: с уклоном 8% в первоначальный период работы карьера до момента достижения горными работами его предельного контура на поверхности, переход на более крутой уклон (16%) до момента достижения горными работами по нерабо-

чему борту глубины перехода на уклон 24% и доработка месторождения далее с этим уклоном.

Приведенные в табл. 2.3 зависимости дисконтированных затрат от глубины перехода на крутые уклоны определяются одними и теми же определяющими параметрами горных работ (глубиной карьеров, углами наклона рабочих бортов и схемами вскрытия) и могут быть использованы для оценки и обоснования последних в разных горнотехнических условиях.

В результате статистической обработки указанная зависимость дисконтированных затрат на разработку месторождения приобретает вид:

$$Z = (1,254 - 0,01H_k + 0,000049H_k^2)(1,278 - 0,026\varphi + 0,000504\varphi^2) \cdot (1,021 + 0,0493C - 0,257C^2) \quad (2.12)$$

Зависимость глубины перехода на крутые уклоны от определяющих факторов:

$$H_{II} = (-13,5 + 0,09375H_k)(0,06 + 0,0924\varphi - 0,00194\varphi^2) \cdot (-0,503 + 1,104C - 0,151C^2) \quad (2.13)$$

Средняя погрешность зависимости (2.12) равняется 7,06%, а зависимости (2.13) – 7,56%, что находится в пределах погрешности существующих фактических показателей открытых горных работ [12].

Полученные результаты исследований могут стать надежной основой для разработки высокоэффективных методов поэтапного определения границ карьеров, параметров системы разработки, вскрыши и других параметров открытых горных работ. Для успешного решения этих задач разработаны эффективные способы проведения крутых вскрывающих выработок и малогабаритные перегрузочные пункты.

2.1.3. Технологические схемы проходческих и перегрузочных работ при применении крутонаклонных вскрывающих выработок

2.1.3.1. Способ проведения крутых траншей с применением гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» [9]

Целью данного способа является повышение эффективности разработки месторождения за счет проведения крутой траншеи, вскрывающей горизонт с ограниченной площадью, при минимальном объеме работ для

автосамосвалов, способных преодолевать крутой уклон, с полной выемкой полезного ископаемого в карьере без дополнительного разноса бортов и транспортированием горной массы от проведения траншеи на поверхность.

Указанная цель достигается тем, что проведение крутой траншеи для автотранспортных средств, способных преодолевать крутые уклоны, осуществляют с помощью гидравлического экскаватора типа «обратная лопата» и автомобильного транспорта, способного преодолевать крутые уклоны. Проведение траншеи после ее взрывания осуществляют в несколько этапов, делящих крутую траншею на горизонтально-клинообразные слои высотой, определяемой возможной глубиной копания экскаваторов, которые обрабатывают с нижним черпанием последовательно сверху вниз, выдерживая в крутонаклонных частях слоев заданный профиль траншеи в ее конечном положении.

Указанная совокупность существенных признаков данного способа позволит уменьшить объем работ и затраты времени на проведение крутой траншеи, уменьшить количество занятого оборудования, сократить расстояние перевозки горной массы, вынимаемой при проведении крутой траншеи, уменьшить размеры дна и увеличить глубину карьера без дополнительного разноса бортов.

Способ поясняется графически, где на рис. 2.5 изображено начало проведения крутой траншеи, заключающееся в обработке верхнего горизонтально-клинообразного слоя с применением гидравлического экскаватора типа «обратная лопата» в средства автомобильного транспорта, способного преодолевать крутые уклоны. На рис. 2.6 изображено положение горнотранспортного оборудования (гидравлического экскаватора и автомобильного транспорта) при обработке второго горизонтально-клинообразного слоя. На рис. 2.7 показана обработка самого нижнего слоя крутой траншеи.

Способ заключается в следующем.

Проведение крутой траншеи начинают с взрывания горной массы в пределах ее границ. Затем осуществляют ее проведение с помощью гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» и автосамосвалов, способных преодолевать крутые уклоны. Проведение траншеи в конечных границах (рис. 2.5) производится путем деления ее на горизонтально-клинообразные слои, высотой их в горизонтальной части, равной возмож-

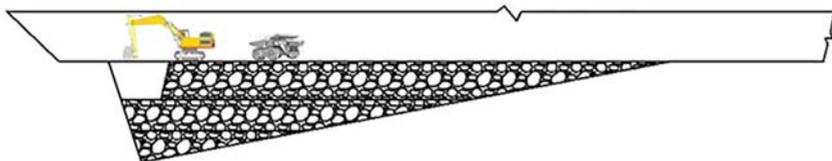


Рисунок 2.5 – Проведение крутой траншеи

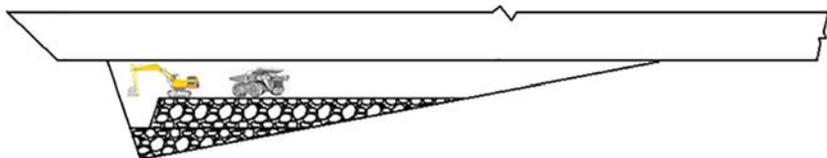


Рисунок 2.6 – Проведение крутой траншеи

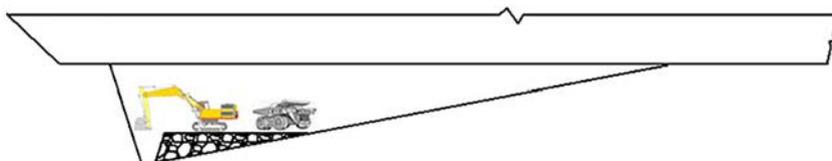


Рисунок 2.7 – Проведение крутой траншеи

ной глубине копания экскаватора. Соответственно обработка слоев производится экскаваторами при нижнем черпании. При отработке верхнего слоя экскаватор и автосамосвал работают, полностью находясь на горизонтальных площадках. При отработке второго слоя (рис. 2.6) экскаватор работает, находясь на горизонтальной площадке, а автосамосвал осуществляет движение частично по горизонтальной, частично, по мере продвижения забоя, по наклонной поверхности. При отработке самого нижнего слоя (рис. 2.7) автосамосвал работает почти полностью на наклонной поверхности.

Использование предлагаемого способа позволяет сформировать крутую траншею, вскрывающую горизонт с ограниченной площадью для автосамосвалов, способных преодолевать крутой уклон, например с шарнирно-сочлененной рамой, с полной выемкой полезного ископаемого в карьере без дополнительного разноса бортов и транспортированием горной массы от проведения траншеи на поверхность.

2.1.3.2. Внутрибортвой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы [10]

Целью данного способа является уменьшение объемов дополнительного разноса бортов и снижение текущих коэффициентов вскрыши в первоначальный период работы карьеров.

Данная цель достигается тем, что ширину нормативной двухполосной бермы (рис. 2.8 и рис. 2.9), на которой должен располагаться перегрузочный пункт (транспортная берма 1), делят на две равные части комбинированной стенкой 2 высотой 6 – 8 м, состоящей из труб 3, установленных в специально пробуренные скважины 4 и приваренных к трубам стальных листов 5. Пространство между стенкой и откосом уступа 6 заполняют взорванной горной массой, образуя из нее склад 7 с крутонаклонным однополосным съездом 8 со стороны подъезда сборочного транспорта и разгрузочной площадкой 9 с противоположной стороны. С верхней площадки 10 в примыкающем к складу 7 откосе уступа в законтурный массив проходят штольню 11 длиной и сечением, обеспечивающими размещение в ней одного сборочного автосамосвала 12 как средства для создания нормальных условий для маневрирования и высокопроизводительной работы транспортного, погрузочного и вспомогательного оборудования в условиях эксплуатации перегрузочного пункта ограниченных размеров. При эксплуатации перегрузочного пункта автосамосвал, въезжающий на склад 7, делает тупиковый разворот в этой штольне и задним ходом подается к разгрузочной площадке 9, где разгружается. В это время его место в штольне занимает следующий автосамосвал с грузом. Разгруженную под откос 13 горную массу экскаватором 14 или карьерным погрузчиком грузят в магистральный автотранспорт 15 для доставки к месту разгрузки.

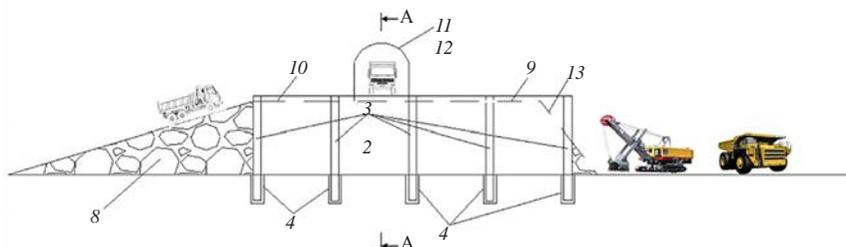


Рисунок 2.8 – Внутрибортвой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы

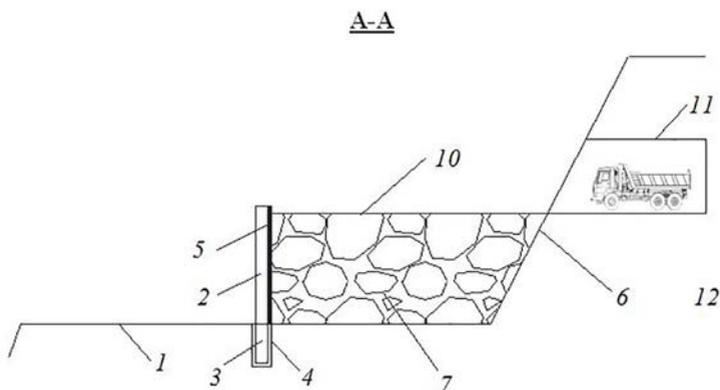


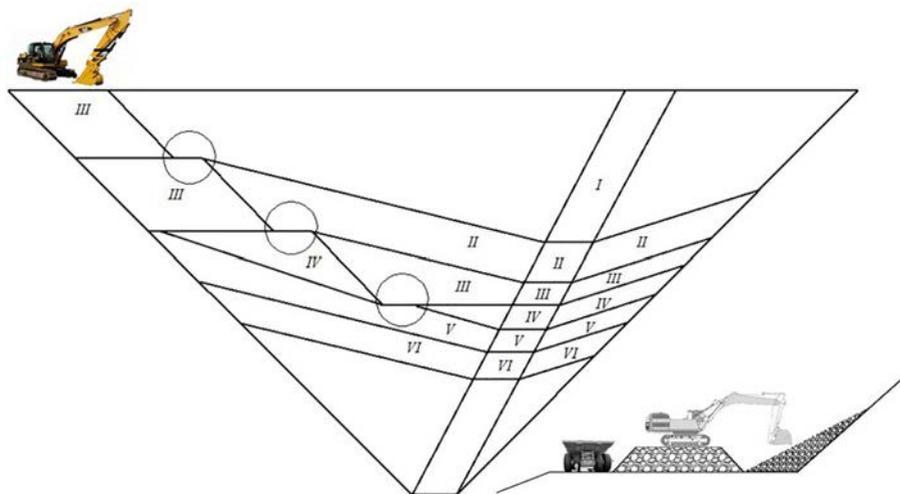
Рисунок 2.9 – Внутрибортвой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы

2.1.4. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров с применением крутонаклонных временно нерабочих бортов

Эффективность применения временно нерабочих бортов в значительной степени зависит от угла его наклона и скорости его последующей расконсервации. Чем больше угол наклона борта и скорость его расконсервации, тем больший объем вскрышных работ переносится на последующие годы отработки месторождения. При этом наклон борта ограничивается требованием безопасности горных работ по условиям камнепада.

Необходимость учета всех этих факторов требует создания временно нерабочих бортов с максимально крутыми углами по условиям устойчивости, вынос всех вскрывающих выработок, рабочих и временно нерабочих площадок за их пределы и устройство камнезащиты для части нижних частей рабочей зоны [11] (рис. 2.10).

Принципиальная конструкция такого борта, технология его формирования и последующей расконсервации [11] заключаются в том, что временно нерабочий борт формируют под углом, близким к предельному, а на верхней отметке временно нерабочего борта оставляют горизонтальную площадку, которую при расконсервации делят на отдельные блоки, включающие готовые к выемке объемы горной массы. Оработку блоков ведут гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» с нижним



I, II, III, IV – очередность выемки различных объемов

Рисунок 2.10 – Схема отработки месторождения с применением крутонаклонных временно нерабочих бортов

черпанием, устанавливаемыми на верхней площадке обрабатываемого уступа, а оставшуюся недобранную часть взорванной горной массы этого уступа обрабатывают с применением карьерных погрузчиков, находящихся на нижней площадке. В составе транспортных средств используют автомобильный транспорт. Вывозка обрабатываемых объемов производится по съездам, формируемым на конечном борту карьера. Высоту обрабатываемых уступов и ширину заходов принимают исходя из рабочих параметров экскаваторов (глубины и радиуса черпания), обработку уступов производят послойно сверху вниз, но при подвигании выемочных блоков обрабатываемого уступа на достаточную величину и обеспечении грузотранспортной связи с поверхностью начинают параллельную отработку очередного уступа и так до тех пор, пока не будет расконсервирован весь временно нерабочий борт. Для защиты от камнепада уступов, расположенных ниже временно нерабочего борта, в его основании по всей длине строят камнезащитную площадку, включающую приямок для размещения падающей сверху горной массы и насыпь, на которой устанавливают ги-

гидравлический экскаватор типа «обратная лопата». Горная масса, падающая на камнезащитную площадку, гидравлическим экскаватором грузится в транспортные средства и вывозится на поверхность. По мере понижения горных работ камнезащитную площадку перемещают на более низкие отметки, обеспечивая возможность увеличения высоты временно нерабочего борта и объемов консервации.

Объем консервируемого целика $V_{ц}$, ограниченного с одной стороны временно нерабочим бортом, а с другой предельным контуром карьера, определяется по формуле:

$$V_{ц} = L \cdot H \cdot B, \text{ м}^3, \quad (2.14)$$

где L , H и B – соответственно длина, высота и ширина целика, м.

Длина целика зависит от длины борта карьера, как правило, продольного со стороны висячего бока. Высота временно нерабочего борта и ширина целика взаимосвязаны аналитической зависимостью:

$$B = H_{к}(\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \gamma) III - H \left[(\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \gamma) + \frac{h_{д}}{h_{р}}(\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \varphi) \right], \text{ м} \quad (2.15)$$

где $H_{к}$ – конечная глубина карьера, м; III – ширина камнезащитной площадки, м; γ – угол погашения конечного борта карьера, град.; φ – угол наклона рабочего борта, град.; α – угол падения рудного тела, град.; $h_{д}$ – скорость понижения добычных работ, м/год; $h_{р}$ – скорость расконсервации временно нерабочего борта, м/год.

Увеличение высоты временно нерабочего борта ведет к уменьшению ширины целика и, наоборот, его уменьшение ведет к увеличению ширины целика. Как влияют все факторы на объем целика при $\frac{h_{д}}{h_{р}} = 3$, можно видеть из данных таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Объем целика, приходящийся на 1 м его длины, тыс. м³

Глубина карьера, м	Скорость понижения добычных работ, м/год					
	10		20		30	
	H		H		H	
	90	120	90	120	90	120
300	6,3	1,2	12,6	2,4	18,9	3,6
450	19,8	19,2	39,6	38,4	59,4	57,6
600	33,3	37,2	66,6	74,4	99,9	111,6

Как следует из таблицы 2.4, увеличение глубины карьера и интенсивности горных работ ведет к увеличению объема целика. Увеличение высоты целика и, соответственно, уменьшение его ширины практически не влияют на консервируемые в целике объемы. Но в целом объем консервации пропорционален объему вскрышных пород в карьере, составляя 10 – 25% от его объема.

Таким образом, процесс перехода от традиционной технологии ведения горных работ при разработке глубокозалегающих месторождений рудного и нерудного минерального сырья большой протяженности на технологию с применением крутонаклонных временно нерабочих бортов обеспечивает значительное перераспределение во времени выполнения вскрышных работ, отодвигая выполнение этих объемов на последующие 5 – 6 лет разработки месторождения.

Выполненный анализ разных типов глубокозалегающих месторождений с учетом горно-геологических и горнотехнических условий, способов и технологий их освоения привел к заключению о целесообразности их систематизации в зависимости от протяженности и глубины, в наибольшей степени отражающих проблемы их освоения. Это позволит целенаправленно адаптировать их к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям на основе разработки новых способов и технологий ведения горных работ, кардинально пересмотреть способы и параметры вскрытия месторождений, создать новые концепции регулирования режима горных работ с использованием крутонаклонных временно нерабочих бортов и других инновационных мероприятий.

2.2. Особенности и этапность формирования рабочей зоны карьеров, в том числе формирование и расконсервация временно нерабочих участков бортов при разработке глубокозалегающих месторождений

Формирование карьерного пространства связано с выбором схем вскрытия и системы разработки, определяемых естественными факторами (горно-геологические условия залегания месторождения, размер залежи, количество и качество полезного ископаемого) и с технологическими решениями – календарным планом, режимом горных работ.

Эти же факторы влияют на закономерности формирования рабочей зоны карьера в соответствии с принятыми показателями скорости перемещения забоя и фронта горных работ, углубки карьера и др.

Исследованиями С.В. Корнилова доказано, что изменение параметров рабочей зоны карьера с понижением горных работ влечет за собой изменение конструкции карьерного пространства, осуществляется формирование временно нерабочих бортов, на которых располагаются временные или полустационарные съезды [12].

Управление рабочей зоной глубоких карьеров и применение технологических приемов управления протяженностью фронта работ обеспечивают требуемую интенсивность отработки, режим горных работ и поддержание их производительности [13].

Одним из наиболее эффективных способов регулирования режима горных работ при разработке крутопадающих месторождений большой глубины является применение крутонаклонных временно нерабочих бортов. С целью расширения их области применения разработан «Способ открытой разработки крутопадающих месторождений с применением комбинированных временно нерабочих бортов» [11].

Конструкция временно нерабочего борта (рис. 2.11), способ его формирования и отработки заключается в следующем.

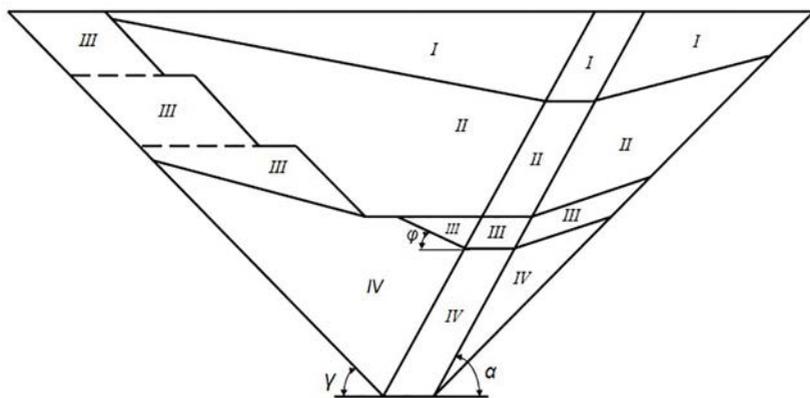


Рисунок 2.11 – Конструкция временно нерабочего борта

В процессе развития карьерного пространства рабочий борт со стороны лежачего бока месторождения при подходе к конечному контуру карьера превращают в предельный и на нем размещают вскрывающие выработки, служащие для грузотранспортной связи рабочих горизонтов с поверхностью. Со стороны висячего бока одновременно с развитием горных работ начинают формировать многоступенчатый временно нерабочий борт, состоящий из ряда располагаемых одна на другой крутонаклонных ступеней, на которых размещают вскрывающие выработки, а в их основании устраивают камнезащитные площадки, ширину которых принимают из расчета размещения падающих на них сверху камней, камнезащитных насыпей с установленными на них гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» и автодороги.

После завершения формирования всех запланированных крутонаклонных ступеней временно нерабочего борта приступают к их расконсервации и отработке целика, включающего объемы горной массы, заключенные между временно нерабочим бортом и предельным бортом карьера. Отработку целика производят горизонтальными слоями с применением гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата». По мере его отработки следом формируют предельный борт с устройством на нем вскрывающей выработки, по которой отработанные объемы вывозят на поверхность. Горную массу, падающую на камнезащитные площадки, грузят в транспортные средства и по вскрывающим выработкам предельного борта со стороны лежачего бока вывозят на поверхность. Последовательность ведения горных работ в карьере с отработкой отдельных объемов указана римскими цифрами (I, II, III, IV).

Параметры временно нерабочих бортов зависят от горно-геологических и горнотехнических условий, в частности от размеров месторождения и отдельной залежи, параметров карьера (глубины, протяженности и т.д.). Главными параметрами временно нерабочего борта являются его высота, ширина, угол наклона, а для вытянутых месторождений еще длина.

Наиболее сложными взаимосвязями характеризуются параметры временно нерабочих бортов карьеров округлой формы. Эта взаимосвязь проявляется через величину A (рис. 2.12).

С одной стороны:

$$A = H_{\text{д}} (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\varphi) + n\text{Ш} + B, \text{ м} \quad (2.16)$$

С другой стороны:

$$A = (H_k - nH) (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma), \text{ м} \quad (2.17)$$

При определении параметров временно нерабочих бортов также должно быть выдержано условие:

$$H_d = \frac{nHh_d}{h_b}, \text{ м} \quad (2.18)$$

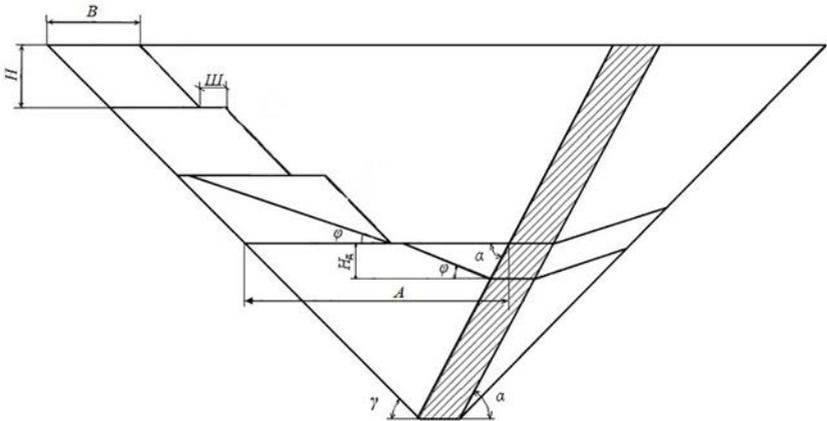


Рисунок 2.12 – Схема крутонаклонных временно нерабочих бортов

где H_k – конечная глубина карьера, м; B – ширина верхней части целика, м; H – высота отдельных частей слоев целика, м; Ш – ширина камнезащитной площадки, м; n – количество отдельных частей слоев целика, шт.; H_d – высота зоны добычных работ, м; γ – угол погашения конечного борта карьера, град.; φ – угол наклона рабочего борта, град.; α – угол падения рудного тела, град.; β – угол, характеризующий отклонение временно нерабочего борта от предельного борта карьера, град.; h_d – скорость понижения добычных работ, м/год; h_b – скорость расконсервации временно нерабочего борта, м/год.

Приравняв правые стороны выражений (2.16) и (2.17) и подставив вместо H_d правую часть выражения (2.18), получим новое выражение, отражающее взаимосвязь между всеми задействованными факторами:

$$\frac{nHh_{\text{д}}}{h_{\text{в}}}(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\varphi) + nIII + B = (H_{\text{к}} - nH)(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\gamma), \text{ м} \quad (2.19)$$

Разрешив выражение (2.19) относительно В, получим формулу для определения ширины верхней части целика:

$$B = \frac{h_{\text{в}}H_{\text{к}}(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\gamma) - h_{\text{в}}nIII - nHh_{\text{д}}(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\varphi)}{h_{\text{в}}}, \text{ м} \quad (2.20)$$

Экономический эффект от применения временно нерабочих бортов Э, представляющий снижение дисконтированных затрат на вскрышные работы в результате перераспределения их во времени выемки, определяется по выражению:

$$\mathcal{E} = \sum_{t=0}^{t=\tau} V_t \cdot B_t - \sum_{t=0}^{t=\tau} V_t^{\text{п}} \cdot B_t, \text{ руб.} \quad (2.21)$$

где V_t – годовые объемы вскрышных работ до применения временно нерабочих бортов, м³;

$V_t^{\text{п}}$ – годовые объемы вскрышных работ после применения временно нерабочих бортов, м³;

B_t – коэффициент проведения разновременных затрат

$$B_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (2.22)$$

E – норма дисконта.

С целью общего представления об экономической эффективности применения рассмотренного способа формирования и расконсервации временно нерабочих бортов произведена статистическая обработка более 40 вариантов сочетания различных исходных данных, входящих в зависимость (2.20).

В результате статистической оценки рассмотренных вариантов установлено, что экономический эффект, представленный в виде снижения дисконтированных затрат на удаление вскрышных пород, выражается зависимостью:

$$\Xi = (-1,74 + 0,0097H_k - 0,0000024H_k^2)(0,61 + 0,0075h_b + 0,00003375h_b^2)(0,735 + 0,175n) \times (0,864 + 0,0017H_c), \% \quad (2.23)$$

где H_k – конечная глубина карьера, м;

H_c – высота ступени временно нерабочего борта, п;

h_b – скорость расконсервации ступеней временно нерабочего борта, м/год;

n – число отдельных ступеней временно нерабочего борта, ед.

Степень влияния определяющих факторов характеризует коэффициент эластичности, показывающий, на сколько процентов в среднем изменяется эффективность применения временно нерабочих бортов при изменении определяющего фактора на 1%. Для конечной глубины карьера он составляет 1,4, для скорости понижения горных работ при расконсервации бортов – 0,53, для количества ступеней – 0,327 и для их высоты – 0,194.

Влияние этих факторов наглядно характеризует зависимость экономического эффекта, представленную на рис. 2.13. Наибольшее влияние на экономическую эффективность применения крутонаклонных временно нерабочих бортов оказывает конечная глубина карьера. Чем больше глу-

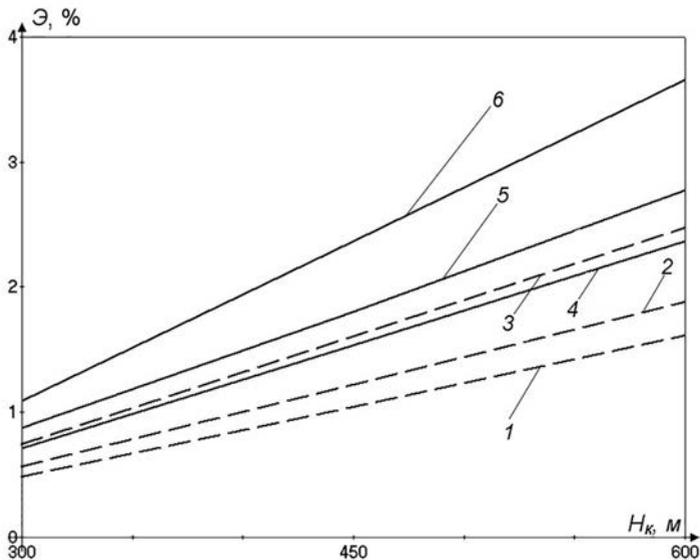


Рисунок 2.13 – Зависимость экономического эффекта от глубины карьера при применении временно нерабочих бортов: 1 – $n = 1$, $h_b = 20$ м/г; 2 – $n = 1$, $h_b = 40$ м/г; 3 – $n = 1$, $h_b = 60$ м/г; 4 – $n = 2$, $h_b = 20$ м/г; 5 – $n = 2$, $h_b = 40$ м/г; 6 – $n = 2$, $h_b = 60$ м/г.

бина, тем эффективнее применение временно нерабочих бортов. На втором месте по значимости находится скорость расконсервации временно нерабочих бортов. Значительно меньшее влияние на экономический эффект оказывает высота ступеней и их число.

Техническим результатом является снижение текущего коэффициента вскрыши в первоначальный период разработки месторождения. При этом расконсервацию верхних ступеней совмещают по времени с формированием нижней, последней из запланированных ступеней, формирование которой ведут одновременно с отработкой прилегающих к ней объемов. Возможность расконсервации и отработки последней ступени без снижения производительности карьера по полезному ископаемому обеспечивают путем его резервирования в добычной зоне в необходимых для этого объемах.

Характерной особенностью предложенного способа является то, что при расконсервации верхних ступеней временно нерабочего борта (II, III) подготовку к отработке следующей (последняя) ступени (IV) ведут путем перехода от наклонного рабочего борта к горизонтальному борту. При этом, как представлено на рисунке, расконсервацию этих ступеней (II, III) производят в момент выемки запасов руды в блоках II и III. Это позволяет уменьшить размеры нижней части рабочей зоны в пределах временно нерабочего борта, увеличить область его применения и его объема.

Основным параметром, определяющим эффективность применения такого временно нерабочего борта, является ширина верхней его ступени, которая определяется по формуле:

$$B = \frac{h_B(H_K - nH)(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma) - h_B nШ - Hh_D(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\varphi)}{h_B}, \quad (2.24)$$

где H_K – конечная глубина карьера, м; H – высота отдельных ступеней целика, м; $Ш$ – ширина камнезащитной площадки, м; n – количество отдельных ступеней целика, шт.; γ – угол погашения конечного борта карьера, град.; φ – угол наклона рабочего борта, град.; α – угол падения рудного тела, град.; h_D – скорость понижения добычных работ, м/год; h_B – скорость расконсервации временно нерабочего борта, м/год.

Характерной особенностью предложенного способа является то, что при расконсервации верхних ступеней временно нерабочего борта подго-

товку к обработке следующей (последняя) ступени ведут путем перехода от наклонного рабочего борта к горизонтальному борту. Это позволяет уменьшить размеры нижней части рабочей зоны в пределах временно нерабочего борта, увеличить область его применения и его объема.

Основными факторами, определяющими эффективность применения предложенной конструкции временно нерабочих бортов, являются конечная глубина карьера, скорость расконсервации бортов, число и высота отдельных ступеней. При глубине карьеров 500 – 600 м эффективность временно нерабочих бортов может достигать 3,5 – 4%. Большим достоинством рассмотренного способа временной консервации бортов является простота определения его параметров и экономической эффективности.

Проверка эффективности данного способа показала, что его применение даже в достаточно жестких условиях обеспечивает экономический эффект до 1,5 – 2%. Он может быть повышен за счет установления целесообразной области применения изобретения и оптимизации его основных параметров.

Наиболее целесообразный уклон вскрывающих выработок круглой формы находится в пределах 20 – 25%. Однако в настоящее время он является недостижимым вследствие целого ряда критических условий:

- отсутствия автосамосвалов, способных преодолевать крутые уклоны;
- отсутствия экскаваторов, способных работать на таких уклонах, включая проведение крутонаклонных траншей;
- отсутствия компактных перегрузочных пунктов, обеспечивающих перегрузку с одного типа транспортных средств на другие в стесненных условиях крутых уклонов и соответствующей им небольшой ширины проезжей части транспортных площадок;
- сложностью обеспечения безопасности горных работ в условиях увеличения углов погашения их бортов в результате применения крутых уклонов.

В настоящее время основой для решения первой проблемы является создание шарнирно-сочлененных автосамосвалов, способных преодолевать уклоны до 20 – 25%, но это пока не дало положительных результатов. Так, в частности, в работе [14] приведены факты, что «опыт эксплуатации шарнирно-сочлененных автосамосвалов CAT-740В (39,5 т) при до-

работке карьера «Удачный АК «АЛРОСА» на уклонах автодорог до 24% выявил ряд конструктивных недостатков указанных моделей» [15]: выход из строя задних мостов вследствие перераспределения нагрузок при движении с грузом на подъем, неполное использование грузоподъемности и т.п. Существует вероятность, что к моменту перехода на крутонаклонное вскрытие (2024 г.) не будет организовано серийное производство ШСС, способных надежно работать на уклонах 24 – 25%. Необходимо предусмотреть технологические решения, учитывающие такую вероятность. Исследования, выполненные в ИГД УрО РАН по исследованию и разработке переходных процессов [16, 17], могут стать основой таких технологических решений.

Для определения объемов дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок создан аналитический метод, позволяющий оперативно с высокой точностью решать поставленную задачу [18]. С этой целью для каждого горизонта карьера, начиная со дна, определяется относительная длина части его периметра d_n , занимаемая вскрывающей выработкой длиной L_B , или, иначе, удельная длина вскрывающих выработок, по условию

$$d_n = L_B / L_n, \text{ б/р}, \quad (2.25)$$

где L_n – периметр n -го горизонта, установленный по условиям устойчивости борта, м.

Величина разноса каждого горизонта ΔR_n , необходимая для размещения всех вскрывающих выработок, расположенных на предельном борту, определяется путем последовательного суммирования (нарастающим итогом) удельной длины вскрывающих выработок d_n всех вышележащих уступов, умноженных на ширину этих выработок B_B :

$$\Delta R_n = \sum_{n=1}^N d_n B_B, \text{ м} \quad (2.26)$$

Результирующий радиус горизонта, установленный по условиям устойчивости борта и размещения на нем вскрывающих выработок, определяется в виде суммы радиусов горизонтов по условиям устойчивости R_u и величины дополнительного разноса борта, необходимого для размещения вскрывающих выработок ΔR .

Термин «удельная длина вскрывающих выработок» является по существу новым понятием в горном деле, характеризующим принципиальное решение задачи определения дополнительного разноса бортов в зависимости от уклона вскрывающих выработок.

В таблице 2.5 приведены результаты расчета величины дополнительного разноса борта для карьера глубиной 240 м с радиусом дна карьера 40 м, шириной вскрывающих выработок 26 м в нижней (гор. 0, +20, +40 м) и 30 м в верхней части карьера при устойчивом угле откоса бортов карьера 45° . Удельная длина вскрывающих выработок на горизонтах (графа 4) определена по выражению (1), а удельный разнос горизонта (графа 5) является произведением удельной длины вскрывающей выработки на горизонте на ширину этой выработки.

Следует учитывать, что для обеспечения необходимой провозной способности транспортной сети карьера число вскрывающих выработок на его предельном борту, особенно на верхних горизонтах, может увеличиваться до двух и более раз. В этих случаях удельная длина вскрывающих выработок (графа 4) и удельный разнос борта на горизонте (графа 5) соответственно увеличивается в число раз, равное количеству вскрывающих выработок. Например, в таблице 2.5 горизонты 180, 200 и 220 м вскрыты двумя вскрывающими выработками. Соответственно удельный разнос борта на этих горизонтах составит 10,86; 9,96 и 9,18 м.

Нарастающая величина разноса борта по горизонтам, представленная в графе 6, отражает дополнительный разнос борта, необходимый для размещения вскрывающих выработок на данном борту в зависимости от его высоты.

Исследования, проведенные на основе аналитического метода определения разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, показали, что дополнительный разнос бортов в значительной степени зависит от глубины карьера, величины уклонов вскрывающих выработок и расположения их по глубине карьера. В целом, объем дополнительного разноса бортов растет с увеличением глубины карьеров и снижением величины уклона вскрывающих выработок.

Анализ аналитического способа определения объемов дополнительного разноса бортов, необходимых для размещения вскрывающих выработок, показал, что наиболее достоверный результат можно получить на

Таблица 2.5 – Результаты расчета дополнительного разноса бортов карьера по горизонтам для размещения вскрывающих выработок

Отметки горизонтов, м	Средний радиус горизонта, R_{yn} , м	Периметр горизонта, L_{yn} , м	Удельная длина вскрывающей выработки на горизонте d_n , б/п	Удельный разнос борта $d_n \cdot B_n$, м	Суммарный разнос борта (нарастающим итогом) ΔR_n , м
1	2	3	4	5	6
240		–			
220	260	1633	0,306 ^{xxx}	9,18 ^{xxx}	109,76
200	240	1507	0,332 ^{xxx}	9,96 ^{xxx}	100,58
180	220	1382	0,368 ^{xxx}	10,86 ^{xxx}	90,62
160	200	1256	0,199 ^{xx}	5,97	79,76
140	180	1130	0,222 ^{xx}	6,66	73,79
120	160	1005	0,249 ^{xx}	7,47	67,13
100	140	879	0,285 ^{xx}	8,55	59,66
80	120	754	0,332 ^{xx}	9,66	51,11
60	100	628	0,399 ^{xx}	11,97	41,45
40	80	502	0,249 ^x	6,47	29,48
20	60	377	0,387 ^x	10,06	23,01
0	40	251	0,498 ^x	12,95	12,95

х) уклон 16%, xx) уклон 8%, xxx) по два съезда на горизонтах с уклоном 8%.

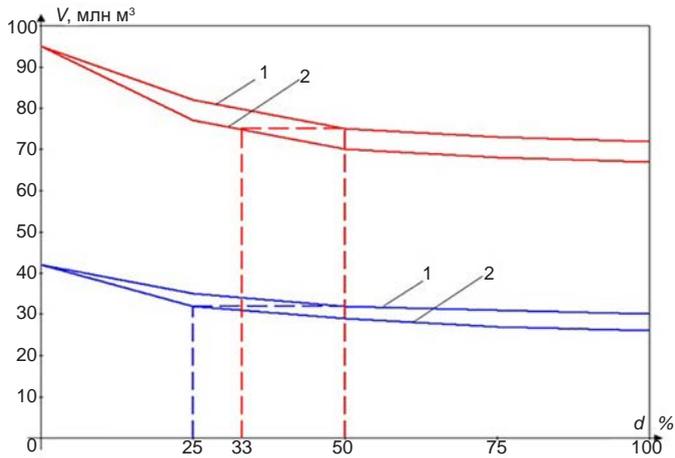
основе совместного определения всего объема карьера, включая основной объем и объем дополнительного разноса бортов, по формуле:

$$V_K = \sum_{n=1}^N \pi h ((H_n + 0,8h) \operatorname{ctg} \gamma + \Delta R_n)^2, \text{ м}^3, \quad (2.27)$$

где H_n – отметка n-го горизонта, считая снизу, м; h – высота уступа, м; γ – угол погашения борта карьера, град.; N – суммарное число горизонтов.

Из рис. 2.14 видно, что в карьере глубиной 400 м его объем при переходе с уклона 8 на 24% (схема вскрытия II) на глубине 25% соответствует объему при переходе с уклона 8 на 16% (схема вскрытия I) на глубине 50%. Аналогично в карьере глубиной 560 м его объем при переходе

с уклона 8 на 24% (схема вскрытия II) на глубине 33% соответствует объему при переходе с уклона 8 на 16% (схема вскрытия I) на глубине 50%.



— глубина карьера 560 м; — глубина карьера 400 м; 1 — схема вскрытия I (8 – 16); 2 — схема вскрытия II (8 – 14).

Рисунок 2.14 – Зависимость объемов горной массы в границах карьеров V от удельного веса крутых уклонов d

В результате исследований большого числа вариантов по предложенной методике удалось установить, что наиболее целесообразной схемой вскрытия крутопадающих круглых месторождений является схема с последовательным увеличением уклона вскрывающих выработок с уклоном 8%, средняя с повышенным уклоном, позволяющим вести работы автосамосвалами средней грузоподъемности, нижняя – с максимальным по техническим и технологическим условиям с использованием специальных транспортных средств типа шарнирно-сочлененных автосамосвалов САТ-740В.

Возможность применения крутых уклонов и их эффективность в значительной степени зависят от способа проведения крутых вскрывающих выработок и создания малогабаритных перегрузочных пунктов.

Проведение крутой траншеи [9] начинают с взрывания горной массы в пределах ее границ. Затем осуществляют ее проведение с помощью гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» и автосамосвалов,

способных преодолевать крутые уклоны. Проведение траншеи в конечных границах производится путем деления ее на горизонтально-клинообразные слои, высотой их в горизонтальной части, равной возможной глубине копания экскаватора. Соответственно обработка слоев производится экскаваторами при нижнем черпании. При обработке верхнего слоя экскаватор и автосамосвал работают, полностью находясь на горизонтальных площадках. При обработке второго слоя экскаватор работает, находясь на горизонтальной площадке, а автосамосвал осуществляет движение частично по горизонтальной, частично, по мере подвигания забоя, по наклонной поверхности. При обработке самого нижнего слоя автосамосвал работает почти полностью на наклонной поверхности.

Использование предлагаемого способа позволило сформировать крутую траншею, вскрывающую горизонт с ограниченной площадью для автосамосвалов, способных преодолевать крутой уклон, например с шарнирно-сочлененной рамой, с полной выемкой полезного ископаемого в карьере без дополнительного разноса бортов и транспортированием горной массы от проведения траншеи на поверхность.

Целью предлагаемого перегрузочного пункта [10] является уменьшение объемов дополнительного разноса бортов и снижения текущих коэффициентов вскрыши в первоначальный период работы карьеров. Данная цель достигается тем, что ширина нормативной двухполосной бермы, на которой должен располагаться перегрузочный пункт, делят на две равные части комбинированной стенкой высотой 6 – 8 м, состоящей из труб, установленных в специально пробуренные скважины и приваренных к трубам стальных листов. Пространство между стенкой и откосом уступа заполняют взорванной горной массой, образуя из нее склад с крутонаклонным однополосным съездом со стороны подъезда сборочного транспорта и разгрузочной площадкой с противоположной стороны. В примыкающем к складу откосе уступа на уровне верхней площадки склада проходят штольню длиной и сечением, обеспечивающими размещение в ней одного автосамосвала как средства для создания нормальных условий для маневрирования и высокопроизводительной работы транспортного, погрузочного и вспомогательного оборудования в условиях эксплуатации перегрузочного пункта ограниченных размеров.

2.3. Ресурсосберегающий способ вскрытия глубоких горизонтов при применении внутреннего отвалообразования в карьерах

Ресурсосберегающий способ вскрытия глубоких горизонтов при применении внутреннего отвалообразования осуществляется следующим образом. Карьер по длине делят на две очереди. Карьер первой очереди отрабатывают до проектной глубины с перемещением вскрышных пород во внешние отвалы, не представленные на рисунке 2.15. Одновременно с началом отработки запасов карьера первой очереди в пределах карьера второй очереди вдоль рудной залежи строят передовой карьер с крутыми углами откосов бортов, предназначенный для регулирования режима горных работ и вскрытия отдельных горизонтов карьера первой очереди (рис. 2.15). При достижении горными работами в карьере первой очереди текущей глубины H_T производят разнос бортов передового карьера, превращая их в рабочие борта 1 (рисунок 2.16) и создавая тем самым фронт работ для последующей отработки карьера второй очереди. Текущую глубину карьера первой очереди H_T определяют по выражению (2.28):

$$H_T = H_K - H_B \frac{h_1}{h_2}, \quad (2.28)$$

где H_K – конечная глубина карьера первой очереди;

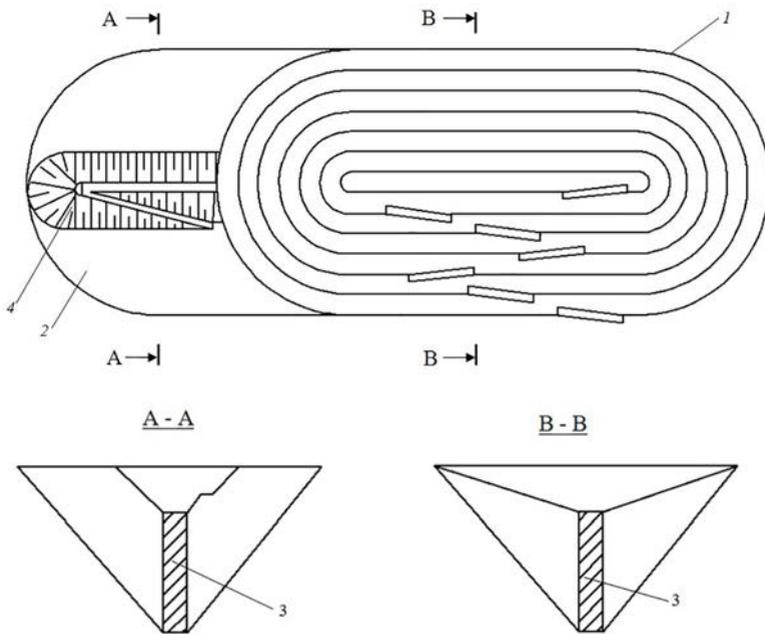
H_B – глубина передового карьера;

h_1 – скорость понижения горных работ в карьере первой очереди;

h_2 – скорость понижения горных работ в карьере второй очереди.

Вскрытие запасов карьера первой очереди (рисунок 2.16) производят внутренним петлевым съездом 2, примыкающим к дну 3 карьера в районе торцевого борта 5.

В процессе отработки запасов карьера первой очереди, а затем запасов карьера второй очереди при формировании их предельных бортов применяют смешанную схему устройства берм безопасности, при которой на торцевых бортах карьеров первой и второй очереди выполняют горизонтальные бермы б, а на продольных бортах карьеров выполняют



1 – карьер первой очереди, 2 – карьер второй очереди, 3 – рудная залежь, 4 – передовой карьер

Рисунок 2.15 – Положение горных работ на момент окончания строительства передового карьера и начала формирования рабочего пространства карьера первой очереди

наклонные бермы 7 с подъемом в сторону предельного торцевого борта карьера первой очереди, при этом наклонные бермы выполняют с уклоном, не превышающим допустимый уклон, применяемый при карьерных грузоперевозках, наклонные бермы стыкуют с горизонтальными бермами, горизонтальные бермы и наклонные бермы выполняют шириной, обеспечивающей возможность одностороннего движения транспортных средств (рис. 2.16). Возможные пересечения наклонных берм с вскрывающей выработкой оборудуют в виде горизонтальных площадок примыкания 8. После полной отработки запасов карьера первой очереди начинают отработку запасов карьера второй очереди, вскрышные породы по наклонным бермам перевозят в выработанное пространство карьера первой очереди, перевозки осуществляют по кольцевой схеме, при этом наклонные бермы

одного продольного борта используют в качестве грузовых, а наклонные бермы другого продольного борта в качестве порожняковых (рис. 2.15, 2.16). Из перевозимых вскрышных пород формируют внутренний отвал 1 (рис. 2.17) при высоте отвальных ярусов, обеспечивающей их устойчивость, расположение и последовательность формирования отвальных ярусов, связанных с размещением вскрышных пород карьера второй очереди во внутреннем отвале, принимают исходя из условия обеспечения минимальной средневзвешенной высоты их подъема от забоя до разгрузочной площадки отвального яруса, используя для этой цели применение временно нерабочих бортов при отработке карьера второй очереди, в соответствии с чем расположению отвальных ярусов и последовательности их отсыпки придают вид, отраженный римскими цифрами (I, II, III, IV) на рисунке 2.17.

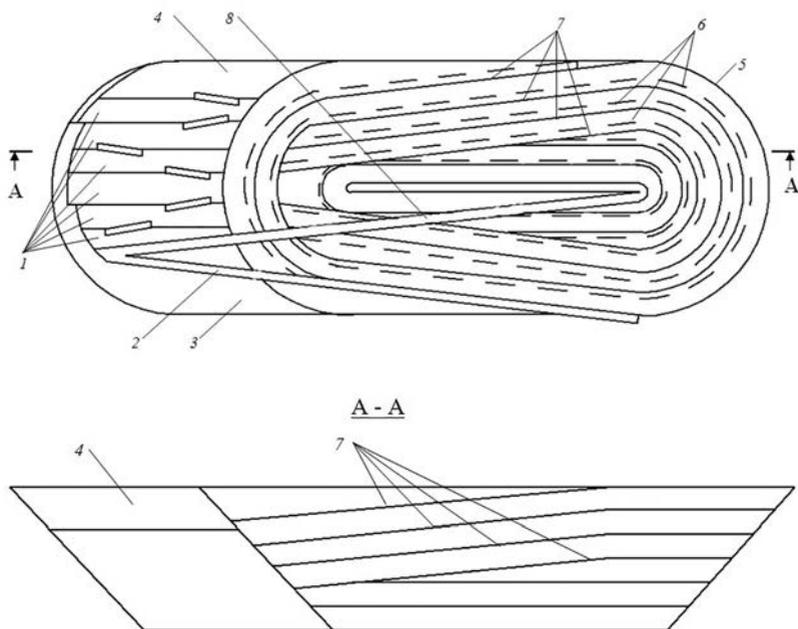


Рисунок 2.16 – Положение горных работ на момент окончания разноса бортов передового карьера с доведением их до рабочего состояния и полной отработке карьера первой очереди

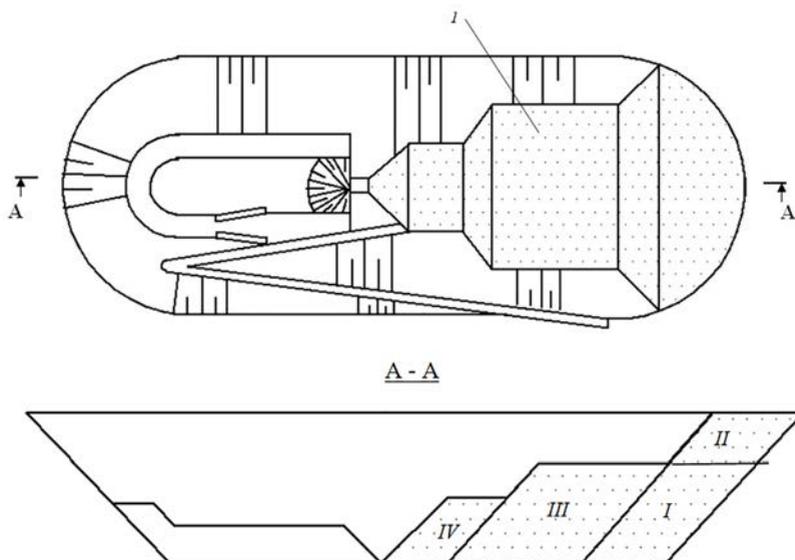


Рисунок 2.17 – Положение горных работ на момент завершающего этапа разработки месторождения и поярусного формирования внутреннего отвала с отражением схемы расположения отдельных ярусов и последовательности их отсыпки

Технический результат, получаемый при использовании изобретения, состоит в уменьшении объемов дополнительного разноса бортов карьеров, необходимых для разрешения вскрывающих выработок, и сокращении расстояний перевозок вскрышных пород из карьера второй очереди в выработанное пространство карьера первой очереди.

В результате анализа наиболее типичных систем разработки глубоко-козалегающих месторождений с внутренним отвалообразованием: поэтапной и сплошной установлено, что наиболее значительное влияние на объемы внутреннего отвалообразования оказывают длина и глубина карьеров, в поэтапной системе увеличение длины карьера ведет к увеличению объема внутреннего отвалообразования, а увеличение глубины наоборот – к его уменьшению, в сплошной системе увеличение длины карьера также обеспечивает увеличение объемов внутреннего отвалообразования, а влияние его глубины при разной длине карьера проявляется по-разному: при небольшой и средней длине увеличение глубины карьера ведет к увеличению объемов внутреннего отвалообразования, а при боль-

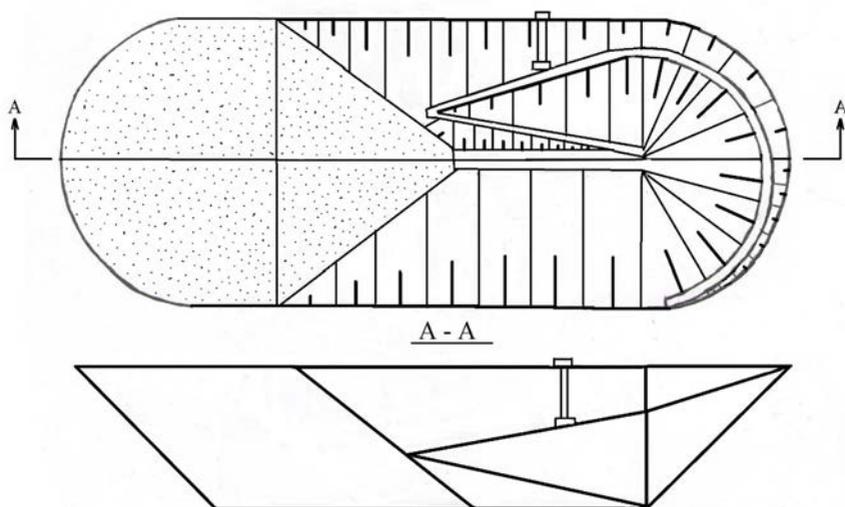


Рисунок 2.18 – Сплошная система разработки с внутренним отвалообразованием

шой длине карьера на объем практически не влияет. В целом, поэтапная система разработки является наиболее эффективной при небольшой длине и глубине карьера, а сплошная обеспечивает наибольший объем внутреннего отвалообразования во всех остальных случаях.

Выводы по главе 2

Одной из наиболее актуальных проблем открытой разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых открытым способом является проблема дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок, который в значительной степени зависит от величины их руководящего уклона. Объемы дополнительного разноса бортов для размещения вскрывающих выработок на глубоких карьерах составляют миллионы и десятки миллионов кубометров вскрышных пород. При этом установлено, что трасса вскрывающих выработок глубоких карьеров круглой формы представляет логарифмическую спираль, а ее объемы определяются по соответствующим формулам. Разработан

и проведен способ расчета целесообразных параметров бортов – их высота и ширина отдельных ступеней.

Результатами исследований установлено, что:

– наиболее целесообразной схемой вскрытия крутопадающих круглых месторождений является схема с последовательным увеличением уклона зоны вскрывающих выработок с 8%, средней зоны карьера – с повышенным уклоном (8 – 10%), позволяющим вести работы автосамосвалами средней грузоподъемности, нижней – с максимальным по техническим и технологическим условиям с использованием специальных транспортных средств типа шарнирно-сочлененных автосамосвалов САТ-740В;

– в системах разработки с внутренним отвалообразованием при комплексном освоении недр целесообразно применять системы, основанные на комбинации горизонтальных и наклонных берм безопасности, из которых последние выполняют также функции транспортных площадок, обеспечивающих селективную выемку и размещение горной массы внутри карьера;

– одним из наиболее эффективных способов регулирования режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности является применение ступенчатых комбинированных временно нерабочих бортов, которые характеризуются эффективными способами их формирования и расконсервации, включая благоприятные условия вскрытия и безопасности горных работ по условиям камнепада;

– основными факторами, определяющими экономическую эффективность разработки месторождений с применением временно нерабочих бортов разработанной конструкции, является глубина карьера, число ступеней временно нерабочего борта и скорость понижения горных работ при его расконсервации;

– область применения крутых уклонов может быть расширена за счет оптимизации их величины и глубины ввода в карьер, а также за счет применения новых технологических схем проведения крутых вскрывающих выработок и конструкций компактных перегрузочных пунктов.

Список литературы по главе 2

1. Машковцев Г. А. Современное состояние минерально-сырьевой базы отечественной металлургии / Г. А. Машковцев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2007. – № 5. – С. 16 – 25.
2. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов карьеров круто-наклонными выработками / А. С. Чаадаев, А. Н. Акишев, В. Л. Бахтин, С. Л. Бабаскин // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 75 – 80.
3. Саканцев Г. Г. Внутреннее отвалообразование на глубоких рудных карьерах / Г. Г. Саканцев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008. – 225 с.
4. Саканцев Г. Г. Экспресс–метод определения границ карьеров с учетом фактора времени / Г. Г. Саканцев // Проблемы недропользования. – 2015. – № 3. – С. 27 – 36. – DOI: 10.18454/2313-1586.2015.03.027.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция): утв. Минэкономки, Минфином и Госстроем РФ N BK 477 от 21.06.99. – Москва: Экономика, 2000. – 421 с.
6. Кортелев О.Б. Влияние параметров рабочей зоны на режим горных работ и границы карьеров / О. Б. Кортелев, В. И. Ческидов, В. К. Норри // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2011. – № 5. – С. 54 – 60.
7. Хохряков В.С. Проектирование карьеров: учебник для вузов / В. С. Хохряков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1992. – 383 с.
8. Яковлев В. Л. Границы карьеров при проектировании разработки сложно-структурных месторождений / В. Л. Яковлев, М. Г. Саканцев, Г. Г. Саканцев. – Екатеринбург. – УрО РАН. – 2009. – 302 с.
9. Патент № 2574891 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Способ проведения крутой траншеи: № 2014146128 : заявл. 17.11.2014 : опубл. 10.02.2016 / Яковлев В. Л., Саканцев Г. Г., Саканцев М. Г., Яковлев А. В., Зырянова Т. М. ; заявитель ИГД УрО РАН.
10. Патент № 2584173 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Внутрибортовой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы : № 2015103237 : заявл. 02.02.2015 : опубл. 20.05.2016 / Саканцев Г. Г., Саканцев М. Г., Яковлев А. В., Переход Т. М., Бусаргина Е. С. ; заявитель ИГД УрО РАН.
11. Патент № 2652234 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Способ открытой разработки наклонных месторождений с применением временно нерабочих бортов : № 2017113248 : заявл. 17.04.2017 : опубл. 25.04.2018 / Яковлев В. Л., Саканцев Г. Г., Яковлев А. В., Переход Т. М.; заявитель ИГД УрО РАН.

12. Трубецкой К. Н. Проектирование карьеров: учебник для вузов. В 2-х томах / К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Изд - во АГН, 2001. – Т. 1. – 519 с., Т. 2. – 535 с.
13. Корнилков С.В. Управление рабочей зоной действующих и проектируемых глубоких карьеров: автореф. дис. докт. техн. наук / С. В. Корнилков. – Екатеринбург, 1997. – 40 с.
14. Технологические решения по решению и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» / А. Н Акишев, Ю. И. Лель, Д. Х. Ильбульдин [и др.] // Известия Вузов. Горный журнал. – 2017. – № 7. – С 1 – 6.
15. Зырянов И. В. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» / И. В. Зырянов, А. И. Цимбалова // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. - № 9. – С. 22 – 25.
16. Яковлев В. Л. О развитии методологических подходов к исследованию проблем освоения недр / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2015. – № 2. – С. 5 – 9. – DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.005.
17. Яковлев В. Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Открытые горные работы в XXI веке-1: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Отдельный выпуск № 45-1. – С. 65 – 76.
18. Саканцев Г. Г. Экспресс – метод определения границ карьеров с учетом фактора времени / Г. Г. Саканцев // Проблемы недропользования. – 2015. – № 3. – С. 27 – 34. – DOI: 10.18454/2313-1586.2015.03.027.

ГЛАВА 3. ВЫБОР ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

3.1. Методологический подход к обоснованию геотехнологической стратегии освоения переходных зон

Проблематика обоснования геотехнологической стратегии (ГС) перехода от открытых горных работ (ОГР) к подземным (ПГР) в значительной степени связана с обеспечением безопасности и эффективности освоения переходных зон [1 – 2]. Исследование переходных процессов как нового методологического подхода к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений выполняется в рамках научного направления, возглавляемого членом-корреспондентом РАН В.Л. Яковлевым [3 – 4]. Необходимыми требованиями при принятии организационных, технических и технологических решений являются: четкое понимание цели и задач переходного процесса, знание присущих ему закономерностей, учет сложившихся на его начало и формирование необходимых на его завершение условий, актуализация положительных и нейтрализация негативных факторов, действующих в переходный период.

В работе [5] дано определение переходного процесса как совокупность технологических, технических и организационных действий при переходе горного предприятия на новый порядок и способ отработки месторождения. Цель переходного процесса при комбинированной разработке месторождения состоит в переводе горнодобывающего предприятия от одного стабильного состояния, соответствующего нормальной стадии развития ОГР, к другому, соответствующему нормальной стадии развития ПГР. Таким образом, переходный процесс при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений можно рассматривать как освоение (вскрытие, очистная выемка и погашение) переходной зоны (ПЗ) – части месторождения в приграничном пространстве между карьером и подземным рудником, в пределах которой осуществляются организацион-

но-технические и технологические мероприятия, направленные на создание оптимальных условий для ПГР с учетом специфических факторов и условий, сформированных при ОГР [6 – 7].

При всей совокупности имеющейся методологической базы не до конца изученными остаются методы учета переходных процессов при обосновании и технико-экономической оценке (ТЭО) вариантов геотехнологии освоения ПЗ при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений. Эти вопросы актуальны при изыскании технологии разработки ПЗ кимберлитовых трубок Якутии (Нюрбинская, Ботуобинская, Юбилейная), «Норильск-1», Весенне-Аралчинского и Сафьяновского медных, Тарыннахского и Горкитского железорудных месторождений. Игнорирование, неполный учет или неправильное управление негативными постоянными и специфическими факторами при освоении ПЗ, обусловленными горно-геологическими, горнотехническими, экономическими, экологическими условиями, может привести к весьма тяжелым последствиям (например, рудник «Мир»).

Любой переходный процесс инициируется субъектом экономической деятельности – горнодобывающим предприятием (холдингом, ГОКом и т.п.) и является результатом его целеполагания. При этом различные виды переходного процесса вызываются разными причинами и условиями, в ходе их реализации действуют свои особые факторы, они имеют специальные цели. Например, очевидным условием пространственного перехода является выбывание производственных мощностей одного объекта разработки (исчерпание объема или ухудшение качества запасов части месторождения) при наличии другого. Причиной, вызывающей технологический и функциональный переход, является несоответствие применяемой технологии добычи (типа или уровня механизации) новым требованиям.

Устойчивое развитие горнодобывающего предприятия в соответствии с изменяющимися внешними условиями, удовлетворение новых требований можно обеспечить только путем изменения (реакции, обновления) внутри самого предприятия. Такое изменение с целью достижения нового стабильного (более совершенного) состояния и представляет собой существо переходного процесса. Таким образом, исследование переходных процессов с целью обоснования геотехнологической страте-

гии освоения переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений является весьма актуальной задачей.

3.2. Систематизация типов переходных зон и вариантов подземной геотехнологии их освоения

Анализ опыта освоения 122 месторождений комбинированным способом показал, что переходный процесс всегда связан со скачкообразным преобразованием предприятия, характеризующимся резкими изменениями характера и ТЭП его деятельности. С другой стороны, переходный процесс неразрывно связан с конкретным разрабатываемым участком месторождения – ПЗ, в пределах которой и осуществляются необходимые изменения [8 – 9]. Переходный период характеризует время реализации переходного процесса.

Установлено, что характеристиками переходного процесса при комбинированной разработке являются: резкое изменение величины производительности предприятия, как правило, в сторону ее снижения, и величины капитальных вложений, в несколько раз превышающих необходимую их величину для поддержания производственной мощности предприятия в стабильный период ОГР. Это связано с необходимостью подготовки производственных площадей для добычи руды качественно новой – подземной геотехнологией. Следствием является резкое уменьшение доходности горнодобывающего предприятия в переходный период. На снижение доходности при освоении ПЗ также существенно влияют увеличенные по сравнению со стабильным периодом ППР эксплуатационные затраты, связанные с влиянием негативных специфических факторов – повышенного горного давления в прикарьерном массиве, активных аэродинамических и гидродинамических связей между подземными выработками и карьером и других.

Установлены основные производственные условия и факторы, влияющие на выбор ГС освоения ПЗ при комбинированной разработке:

– горнотехнические: производственная мощность предприятия (интегральный показатель, учитывающий природные и производственные факторы), глубина разработки, способ и схема вскрытия, система разработки;

– технологические: схема и параметры БВР, схема выпуска и доставки руды; тип, состав и производительность комплекса технологического оборудования на проходке и очистной выемке; параметры выемочных единиц и конструктивных элементов системы разработки; показатели извлечения; способ погашения выработанного пространства;

– организационные: порядок разработки месторождения во времени (ярусный, многоярусный); порядок ввода в эксплуатацию месторождения (количество этапов); направление развития горных работ по вертикали (нисходящий, восходящий порядок), последовательность отработки запасов в этаже; организация ведения очистных и проходческих работ;

– специфические условия и факторы, формируемые на предыдущем этапе освоения месторождения, при переходе от ОГР к ПГР;

– наличие карьера, его глубина, техническое состояние и пригодность для целей вскрытия и очистной выемки ПЗ. Определяется последовательной или параллельной схемой применения ОГР и ПГР, способом погашения выработанного пространства карьера, наличием и техническим состоянием технологического оборудования ОГР;

– объем дорабатываемых ПГР запасов, их пространственное расположение относительно карьера, определяемые глубиной перехода от ОГР к ПГР;

– близость подземного блока к карьере, что вызывает действие негативных специфических факторов;

– неблагоприятные климатические условия и возможное наличие водоносных горизонтов в покрывающих породах, что обуславливает необходимость изолирования подземных очистных выработок от карьера.

Переходный процесс обуславливает тип ПЗ в зависимости от стадии освоения месторождения ПГР и ОГР и затрагивает различные подсистемы горнотехнической системы (ГТС) подземного рудника (табл. 3.1).

Варианты ГС формируются на основе соответствующих вариантов подземной геотехнологии, представляющих собой рациональное сочетание порядка развития горных работ во времени и пространстве, способ и схему вскрытия, технологию очистной выемки и способ погашения выработанного пространства [10]. Для этого необходимо последовательное решение и согласование результатов следующих научно-технических задач:

Таблица 3.1– Типы ПЗ при подземной разработке месторождений

Стадия освоения месторождения	Тип переходной зоны (объект освоения)	Подсистемы ГТС рудника, затрагиваемые переходным процессом
<i>переход от открытых горных работ к подземным</i>		
1. Совместное ведение открытых и подземных горных работ (параллельная схема)	Этаж (этажи), смежные с рудным барьерным целиком	Вскрытие, подготовка и отработка этажа (этажей), смежного с рудным барьерным целиком, с целью создания искусственного барьерного целика. Порядок и направление развития ПГР в шаге вскрытия и отработки
2. Переход от открытых горных работ к подземным (последовательная схема)	Этаж (подэтаж) между карьером и основными подземными запасами	Вскрытие, подготовка и отработка запасов ПЗ. Порядок и направление развития ПГР в ПЗ и ОЗ
<i>переход к новому шагу вскрытия и отработки месторождения</i>		
3. Переход от одноярусного к многоярусному освоению месторождения	Переходная зона не образуется. На последнем этапе – рудный барьерный целик	Вскрытие, подготовка и отработка запасов ПЗ. Порядок и направление развития ПГР в ПЗ и ОЗ
4. Переход к новому шагу освоения месторождения	Смежный этаж (подэтаж) между старым и новым шагом	Вскрытие, подготовка и отработка смежного этажа. Порядок и направление развития подземных горных работ в ПЗ и ОЗ
5. Переход к новому этажу в одном шаге освоения (при условии изменения технологии и (или) геотехники)	Смежный этаж (подэтаж), осваиваемый новой технологией и (или) геотехникой	Подготовка и отработка смежного этажа (подэтажа) новой технологией и (или) геотехникой. Порядок и направление развития подземных горных работ в ПЗ и ОЗ
6. Переход к новой выемочной единице (при условии изменения технологии и (или) геотехники)	Смежная выемочная единица (камера, блок, панель), осваиваемая новой технологией и (или) геотехникой	Подготовка, нарезка и отработка смежной выемочной единицы новой технологией и (или) геотехникой

– определить пространственное расположение запасов, подлежащих освоению ПГР, относительно проектного контура карьера и рудные площади по горизонтам;

– выбрать систему разработки и способ погашения выработанного пространства ПЗ, обеспечивающие оптимальные условия для освоения ОЗ на новом стабильном этапе ПГР;

– определить конструкцию и параметры системы разработки ПЗ с учетом последовательной или параллельной схемы ведения ОГР и ПГР в переходный период, уровня горного давления в прикарьерном массиве, возможности использования карьерного технологического оборудования;

– обосновать способ изоляции ПГР от карьера в зависимости от системы разработки ПЗ и с учетом наличия внутреннего породного отвала в карьере, определить приемлемую величину ААС и гидравлических связей;

– определить состав комплекса технологического оборудования;

– установить показатели полноты и качества извлечения руды из ПЗ;

– установить производственную мощность рудника в переходный период исходя из горных возможностей при отработке ПЗ с учетом продолжительности и объема добычи руды при доработке карьера;

– обосновать способ и схему вскрытия запасов ПЗ с учетом системы подземной разработки ПЗ, возможности использования карьерного пространства и оборудования, производительности транспортной системы карьера и его параметров;

– определить необходимую интенсивность и срок вскрытия и отработки ПЗ исходя из запланированного срока ввода подземного рудника в работу;

– установить параметры (высоту и запасы) ПЗ в зависимости от вышерассмотренных специфических условий и факторов;

– разработать календарный план вскрытия, подготовки и отработки ПЗ;

– согласовать организационно-технические и технологические решения по освоению ПЗ с производственной программой предприятия как по доработке карьера, так и освоению ОЗ месторождения в стабильном периоде ПГР, откорректировать их в случае необходимости.

Исходя из установленных принципов и решаемых научно-технических задач, систематизированы варианты подземной геотехнологии освоения ПЗ при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений, отличающиеся следующими признаками: состояние карьера, порядок отработки, способ и схема вскрытия, система разработки ПЗ и ОЗ, способ изоляции ПГР от карьера (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Варианты подземной геотехнологии освоения ПЗ

Элемент технологии	Вариант геотехнологии			
	1	2	3	4
Состояние карьера	обрушен или внутренний отвал на его дне	в устойчивом состоянии	обрушен или внутренний отвал на его дне	в устойчивом состоянии
Порядок отработки	нисходящий		восходящий	
Способ и схема вскрытия ПЗ и ОЗ	вертикальными стволами с поверхности	автоуклонами из карьера и с поверхности	вертикальными стволами с поверхности	автоуклонами из карьера и с поверхности
Система разработки ПЗ	этажное принудительное или подэтажное обрушение	этажно-камерная или горизонтальные слои с закладкой	этажное принудительное или подэтажное обрушение	этажно-камерная или горизонтальные слои с закладкой
Способ изоляции ПЗ	массивом разрыхленных пород на дне карьера	рудным или искусственным целиком в пределах ПЗ	массивом разрыхленных пород на дне карьера, без изоляции	рудным или искусственным целиком в пределах ПЗ
Система разработки ОЗ	этажное принудительное или подэтажное обрушение под массивом пород	этажно-камерная с закладкой под закладочным массивом	этажно-(подэтажно)-камерная с закладкой под рудным массивом	

В соответствии с систематизацией сконструировано и оценено 4 варианта подземной геотехнологии освоения ПЗ для горно-геологических и горнотехнических условий разработки уральского медноколчеданного месторождения: мощность рудного тела – 40 м, угол падения – 50°, глубина залегания – 500 м, глубина карьера – 260 м, производственная мощность рудника – 500 тыс.т/год, высота этажа – 60 м, содержание меди в руде – 1,8% [11].

Вариант подземной геотехнологии 1.

Карьер обрушен или внутренний отвал на дне карьера. Порядок отработки – нисходящий этажный, начиная с ПЗ. Вскрытие двумя вертикальными центрально расположенными стволами с поверхности – главным скиповым и вентиляционно-вспомогательным $S = 27,3$ м², этажными квершлагами $S = 14,1$ м² и одним концентрационным горизонтом $S = 9,6$ м² с оборудованием у ствола дробильно-дозаторного комплекса (ДДК) (рис. 3.1). Внутришахтный транспорт (ВШТ) руды по концентрационному горизонту – электровозный в вагонетках емкостью 4 м³. Доставка руды по доставочным ортам и штрекам эксплуатационных горизонтов $S = 16,6$ м² до капитальных рудоспусков $S = 10$ м² – погрузо-доставочными машинами (ПДМ) типа ТОРО-007. Спуск самоходного СО – по стволу вспомогательному, между горизонтами – по участковым наклонным съездам. Система разработки ПЗ – этажное принудительное обрушение, способ изоляции ПЗ – массивом разрыхленных пород на дне карьера. Система разработки основных запасов – этажное принудительное обрушение под массивом разрыхленных пород.

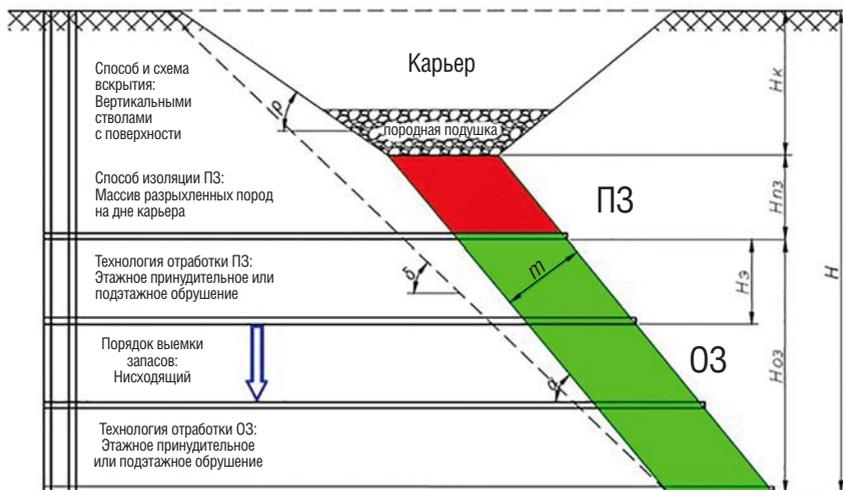


Рисунок 2.18 – Сплошная система разработки с внутренним отвалообразованием

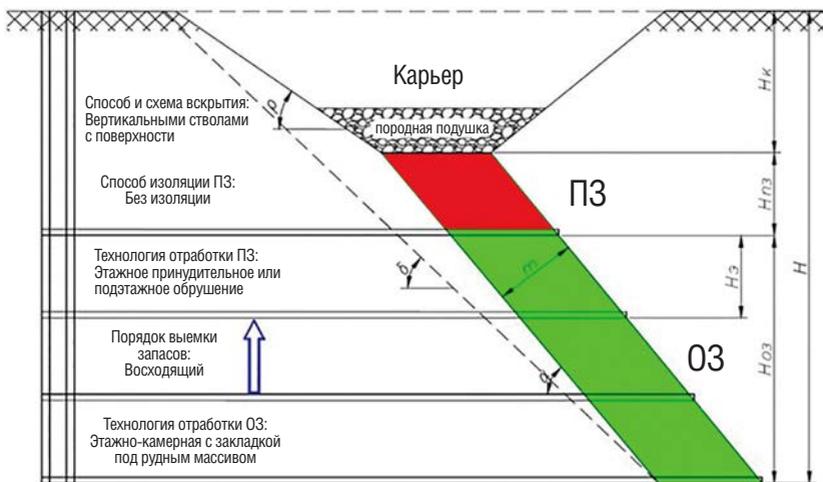


Рисунок 3.3 – Вариант подземной геотехнологии 3

Вариант подземной геотехнологии 4.

Карьер в устойчивом состоянии. Порядок отработки – восходящий, начиная с нижнего этажа, ПЗ отрабатывается в последнюю очередь. Вскрытие и транспорт аналогичны варианту 2 (рис. 3.4). Отличие состоит в последовательности ведения вскрывающих (ГКР) и подготовительно-нарезных (ПНР) работ – сначала обеспечивается вскрытие и подготовка нижнего этажа, далее последовательно снизу – вверх. Система разработки ПЗ – этажно-камерная с закладкой, способ изоляции ПЗ – рудным целиком, формируемым в пределах ПЗ. Система разработки основных запасов – этажно-камерная с закладкой под рудным массивом.

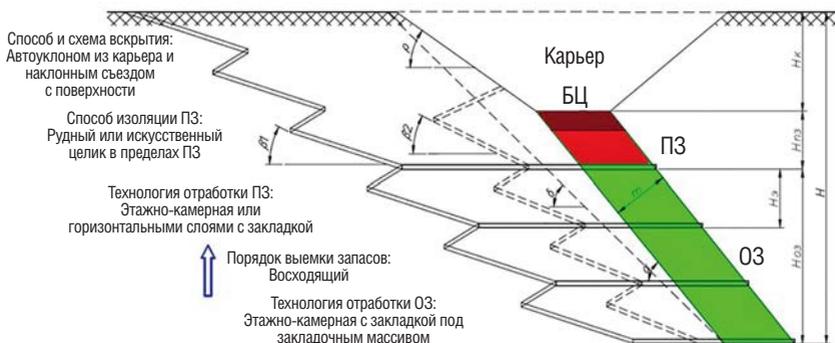


Рисунок 3.4 – Вариант подземной геотехнологии 4

3.3. Конструирование и сравнительная оценка вариантов систем разработки переходных зон и основных запасов

На основании анализа результатов научных исследований, современного опыта проектирования и эксплуатации запасов ПЗ с последующим освоением ОЗ месторождения установлены основные положения конструирования систем их разработки:

- рациональность конструкции системы разработки основных и вспомогательных технологических процессов;

- способ изоляции подземных горных выработок от карьерного пространства должен быть надежным, малозатратным и обеспечивать высокие показатели извлечения руды. При системах с обрушением наиболее эффективным является создание предохранительного слоя («подушки») из отбитых и невыпущенных запасов руды на дне карьера, а при системах с открытым выработанным пространством и с закладкой – рудным или искусственным целиками;

- очистные блоки и основные ПНВ располагаются по направлению действия главных напряжений (как правило, вкрест простирания рудных тел);

- из-за нарушенности массива переходной зоны и значительной величины горного давления принимать сплошной порядок отработки;

- необходимо учитывать и нейтрализовать аэро- и гидродинамические связи между карьером и подземными выработками;

- с целью достижения и поддержания проектной мощности рудника интенсивность технологических процессов на проходческих и очистных работах обеспечивать применением комплексов СО;

- при восходящей выемке основных запасов применять этажно-камерную систему разработки с последующей твердеющей или малопрочной закладкой;

- выработки основания блока располагать над самой мощной частью целика, сформированного в кровле нижележащей камеры в условиях восходящей выемки;

- производить полную закладку камер под кровлю путем придания наклона (треугольной формы) кровле очистной камеры.

В соответствии с данными положениями для разработанных вариантов 1 – 4 подземной геотехнологии сконструированы наиболее рациональные системы разработки ПЗ и основных запасов месторождения.

В результате технико-экономического сравнения установлено, что оптимальными системами разработки являются:

– для варианта 1 подземной геотехнологии – этажное принудительное обрушение при выемке как ПЗ, так и ОЗ месторождения (рис. 3.5);

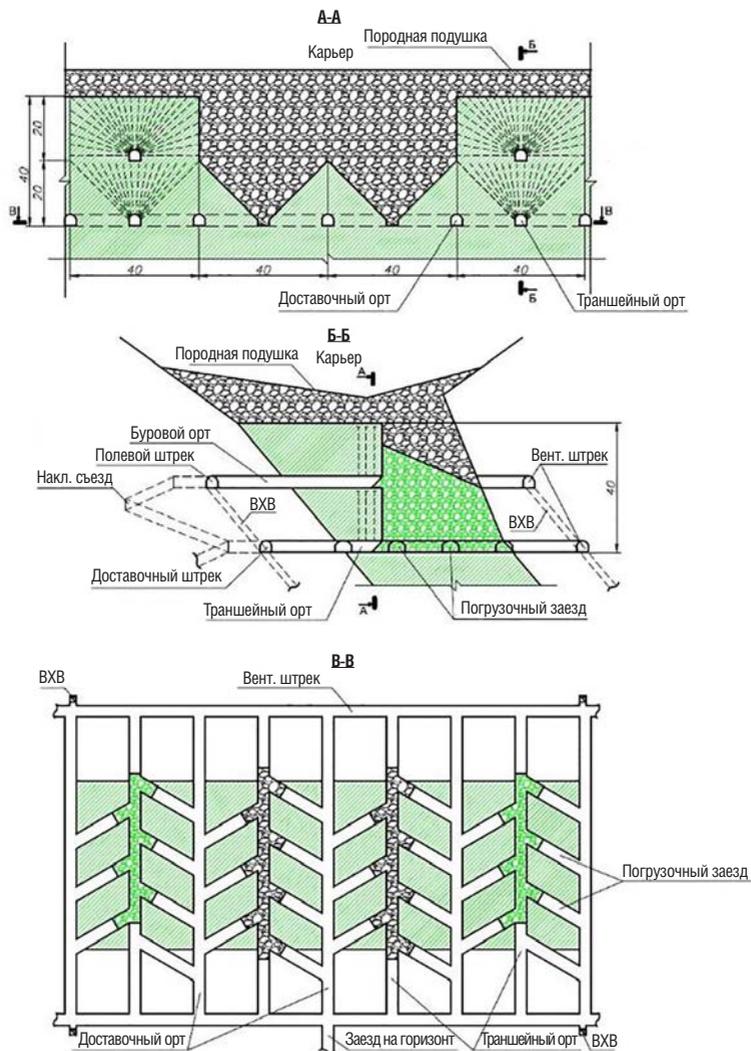


Рисунок 3.5 – Этажное принудительное обрушение с одностадийной выемкой и площадным выпуском руды

– для варианта 2 подземной геотехнологии – этажно-камерная с твердеющей закладкой при выемке ПЗ и ОЗ (рис. 3.6);

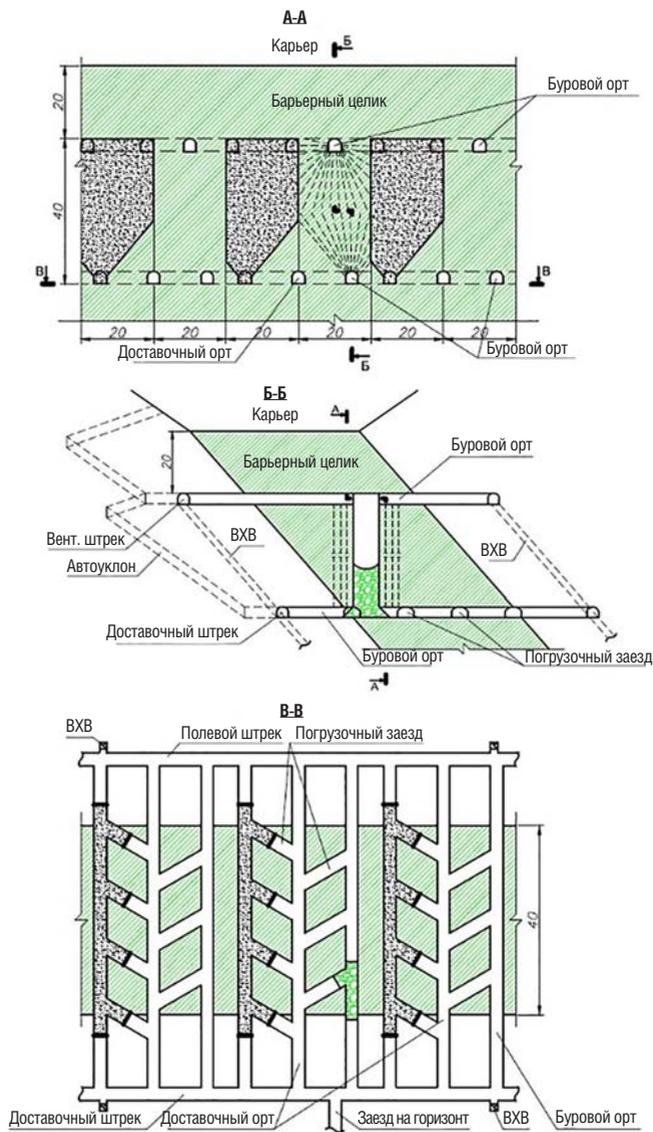


Рисунок 3.6 – Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой и временной рудной изолирующей потолочиной под дном карьера

– для варианта 3 подземной геотехнологии – этажное принудительное обрушение при выемке ПЗ и этажно-камерная с твердеющей закладкой при выемке ОЗ в условиях восходящей отработки месторождения (рис. 3.7);

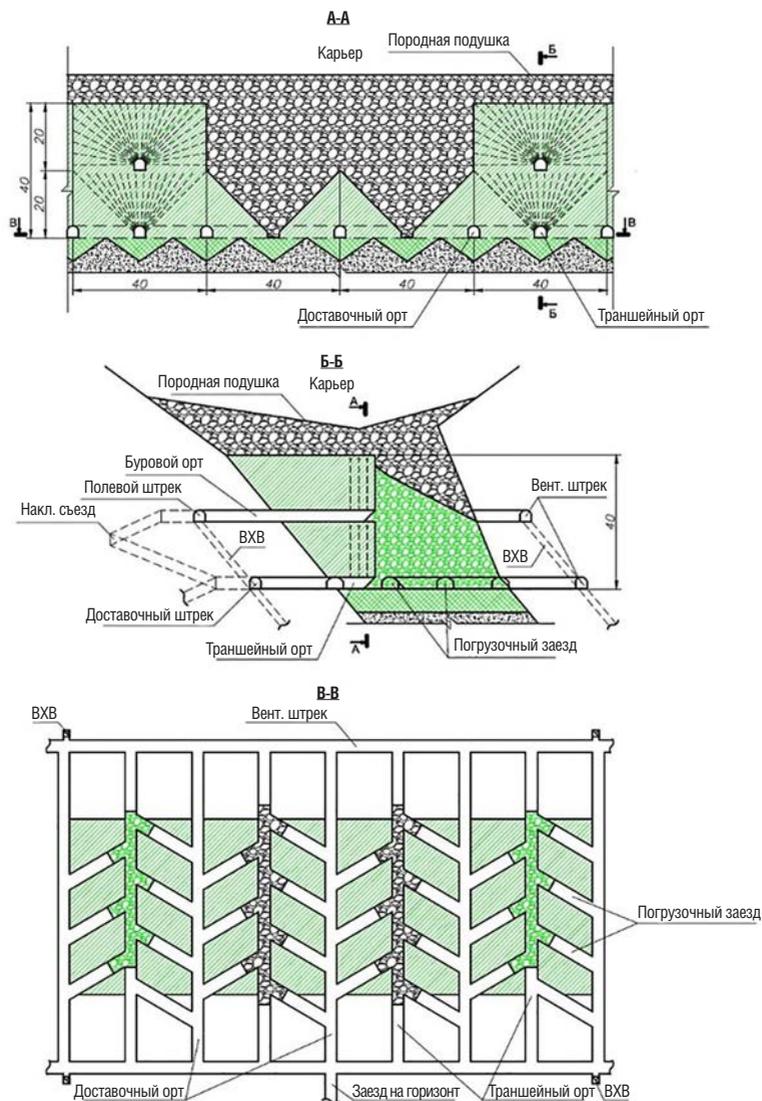


Рисунок 3.7 – Этажное принудительное обрушение с одностадийной выемкой и площадным выпуском руды при выемке ПЗ

– для варианта 4 подземной геотехнологии – этажно-камерная с твердеющей закладкой при выемке как ПЗ, так и ОЗ в условиях восходящей отработки месторождения (рис. 3.8).

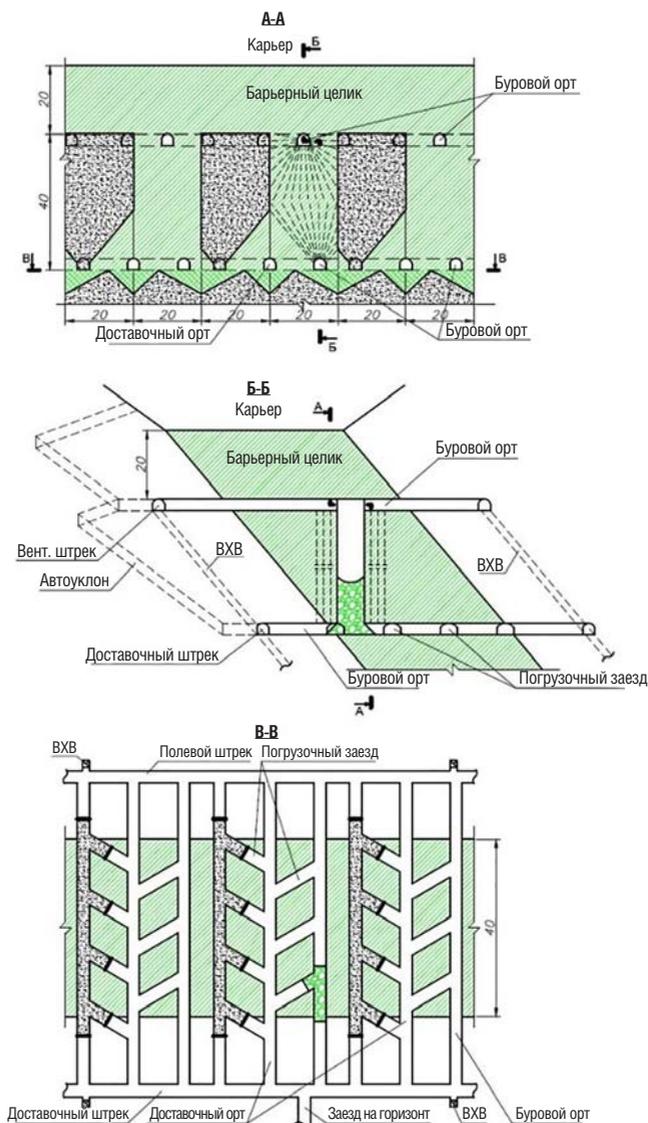


Рисунок 3.8 – Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой при выемке как ПЗ, так и ОЗ в условиях восходящей отработки месторождения и временной рудной изолирующей потолочинной под дном карьера

Основные ТЭП оптимальных систем разработки ПЗ и ОЗ месторождения для разработанных вариантов 1 – 4 подземной геотехнологии представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – ТЭП оптимальных систем разработки ПЗ и основных запасов

№	Показатели	Ед. изм.	Вариант подземной геотехнологии			
			1	2	3	4
<i>отработка ПЗ</i>						
1	Система разработки	–	ЭПО	ЭКТЗ	ЭПО	ЭКТЗ
2	Балансовые запасы добычного блока	т	243200	243200	243200	243200
3	Потери	%	10	5	10	5
4	Разубоживание	%	15	8	15	8
5	Эксплуатационные запасы	т	257506	251130	257506	251130
6	Объем ПНР по системе	м ³	6773	8489	6773	8489
7	Удельный объем ПНР на 1000 т добытой руды	м ³ /1000 т	26,3	33,8	26,3	33,8
8	Себестоимость добычи и обогащения на 1 т балансовых запасов	руб./т	2026	2171	2026	2171
9	Извлекаемая ценность на 1 т балансовых запасов	руб./т	2618	2827	2618	2827
10	Прибыль на 1 т балансовых запасов	руб./т	592	656	592	656
<i>отработка ОЗ</i>						
11	Система разработки	–	ЭПО	ЭКТЗ	ЭКТЗ	ЭКТЗ
12	Балансовые запасы добычного блока	т	364800	364800	364800	364800
13	Потери	%	8	4	4	4
14	Разубоживание	%	13	8	7	7
15	Эксплуатационные запасы	т	385766	380661	376568	376568
16	Объем ПНР по системе	м ³	9654	12086	12542	12542
17	Удельный объем ПНР на 1000 т добытой руды	м ³ /1000 т	25,0	33,4	33,3	33,4
18	Себестоимость добычи и обогащения на 1 т балансовых запасов	руб./т	2020	2191	2151	2151
19	Извлекаемая ценность на 1 т балансовых запасов	руб./т	2692	2856	2863	2863
20	Прибыль на 1 т балансовых запасов	руб./т	672	665	712	712

3.4. Экономико-математическое моделирование подземной геотехнологии освоения переходных зон и основных запасов

Исходя из установленных особенностей переходных процессов, принципов освоения ПЗ, с целью сравнения эффективности геотехнологии, применяемой в переходный период, с геотехнологией освоения месторождения в предшествующий стабильный период и выбора ее оптимального варианта, предложен новый критерий оценки вариантов освоения ПЗ подземным способом [5, 7]. Поскольку в переходный период происходит резкое снижение доходности от эксплуатации месторождений, за критерий принят минимум снижения доходности ΔD горнодобывающего предприятия при переходе от одного стабильного состояния к другому, руб.:

$$\Delta D = D_0 - D_{\Pi} \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

где D_0 – среднегодовой доход предприятия в стабильный период ОГР, руб./год; D_{Π} – среднегодовой доход предприятия в переходном периоде, определяемый путем дисконтирования выручки, капитальных и эксплуатационных затрат, руб./год.

$$D_{\Pi} = \sum_{t=1}^T \frac{Zc(1-P^{\Pi})\varepsilon_0 A_t^{\Pi} - (K_t^{\Pi} + C^{\Pi} A_t^{\Pi})}{(1-E)^t} / T \rightarrow \max, \quad (3.2)$$

Z – цена 1 т металла на рынке, руб.; c – содержание металла в балансовых запасах ПЗ, доли ед.; P^{Π} – разубоживание руды при отработке ПЗ, доли ед.; ε_0 – извлечение металла в концентрат, доли ед.; A_t^{Π} – производственная мощность предприятия по руде в t -м году переходного периода, т/год; K_t^{Π} – капитальные затраты на строительство подземного рудника в t -м году переходного периода с учетом специфических факторов, руб.; C^{Π} – эксплуатационные затраты на добычу 1 т руды при отработке ПЗ с учетом специфических факторов, руб./т; E – норма дисконта, доли ед.; T – продолжительность переходного периода, рассчитываемая от начала капитальных вложений до окончания отработки ПЗ, лет.

Для целевых функций (3.1) и (3.2) действуют ограничения:

$$1. A_1^{\Pi}, A_2^{\Pi} \dots A_t^{\Pi} < A^0 \quad (3.3)$$

2. $D_o > D_p$.

(3.4)

Оценка эффективности вариантов геотехнологии освоения ПЗ по критерию ΔD в зависимости от специфического фактора глубины карьера при среднегодовом доходе предприятия в стабильный период ведения ОГР – 300 млн руб., сроке отработки ПЗ – 8 лет; норме дисконта – 10% показала (рис. 3.9):

– среднегодовой доход предприятия в переходный период ДП значительно ниже среднегодового дохода при ОГР ДО и находится в диапазоне ДП = 90 – 190 млн руб. (что составляет от 30 до 65% ДО);

– наиболее эффективным является вариант 4 за счет более низких эксплуатационных затрат на добычу руды (по сравнению с вариантом 2) и более низких капитальных затрат на вскрытие (по сравнению с вариантами 1 и 3).

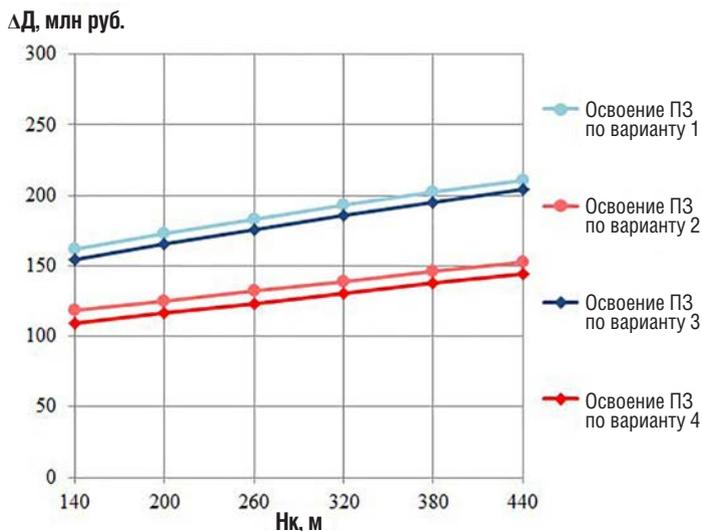


Рисунок 3.9 – Снижение доходности ΔD по вариантам геотехнологии

Как показано выше, целью освоения ПЗ при комбинированной разработке является обеспечение условий для эффективной и безопасной отработки ОЗ в последующий стабильный период. Исходя из этого, для оценки ГС освоения ПЗ предложен интегральный эффект от освоения всех запасов, предназначенных для ПГР – суммы запасов ПЗ и ОЗ [10]. При этом опти-

мальные параметры и показатели освоения ПЗ соответствуют максимуму данного эффекта. В качестве критерия оценки принят максимум чистого дисконтированного дохода (ЧДД) в следующем виде, руб.:

$$\text{ЧДД} = \frac{\sum_{t=0}^T C_t}{(1+E)^t} - \left(\frac{\sum_{t=0}^T K_t}{(1+E)^t} + \frac{\sum_{t=0}^T \mathcal{E}_t}{(1+E)^t} \right) \rightarrow \max, \quad (3.5)$$

где T – суммарная продолжительность строительства рудника и освоения всех запасов месторождения ППР, лет; C_t – извлекаемая ценность компонентов, получаемая в t -м году, руб./год; K_t – капитальные затраты на строительство рудника в t -м году, руб./год; \mathcal{E}_t – эксплуатационные затраты на добычу руды в t -м году, руб./год; E – норма дисконта, доли ед.

Результаты экономико-математического моделирования (ЭММ) вариантов ГС освоения ПЗ и ОЗ с учетом динамики развития ППР во времени приведены на рис. 3.10.

ЧДД, млн руб.

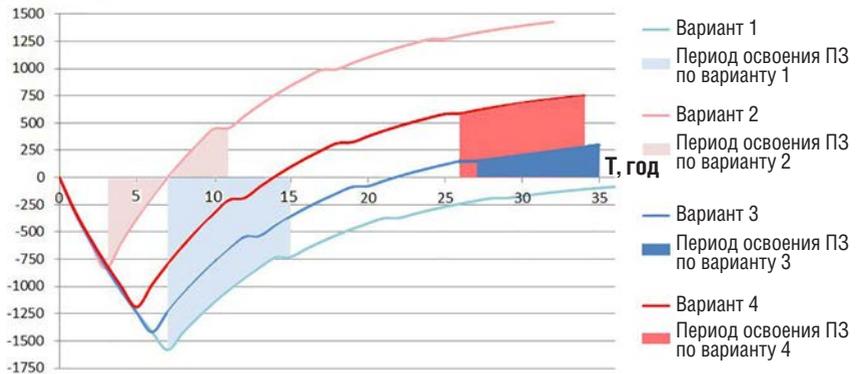


Рисунок 3.10 – ЧДД по вариантам ГС освоения ПЗ и ОЗ

Результаты ЭММ показали:

– оптимальным является вариант 2 ГС, предусматривающий нисходящий порядок отработки, поэтапное вскрытие ПЗ и ОЗ автоуклоном из карьера и наклонным съездом с поверхности, разработку ПЗ этажно-камерной системой с твердеющей закладкой под рудным целиком и последующую отработку ОЗ этажно-камерной системой с закладкой под сформированным в пределах ПЗ закладочным массивом. При этом ЧДД

составляет 1428 млн руб., срок окупаемости – 7 лет, срок строительства – 3 года, срок отработки – 29 лет. Эффект достигается за счет быстреего (на 3-й год строительства) ввода рудника в эксплуатацию для освоения ПЗ, отсрочки во времени капложений на вскрытие ОЗ (10-й, 17-й и 24-й год) и более низких капитальных затрат даже при более высоких эксплуатационных затратах. Уже при отработке ПЗ образуется доход в размере 455 млн руб., что составляет 32% от общего дохода по варианту геотехнологии;

– вторым по эффективности является вариант 4 ГС, предусматривающий восходящий порядок выемки, вскрытие автоуклоном из карьера и наклонным съездом с поверхности на всю глубину распространения запасов, последовательную разработку ОЗ этажно-камерной системой с твердеющей закладкой под рудным целиком и на последнем этапе – отработку ПЗ этажно-камерной системой с закладкой под рудным целиком. ЧДД составляет 750 млн руб. (меньше на 47% варианта 2), срок окупаемости – 14 лет (больше в 2 раза), срок строительства – 5 лет (больше на 40%), срок отработки – 29 лет;

– варианты 1 и 3 ГС значительно уступают по эффективности вариантам 2 и 4 ГС. Причиной является большой срок строительства рудника (7 и 8 лет, соответственно) и, вследствие этого, удлинение срока окупаемости (25 и более лет). Эти результаты подтверждают нецелесообразность вскрытия вертикальными стволами с поверхности при последовательной схеме комбинированной разработки медноколчеданных месторождений с относительно небольшими запасами (до 20 млн т) для ПГР;

– очередность выемки ПЗ относительно ОЗ определяется вариантом ГС освоения подкарьерных запасов. При вскрытии автоуклоном из карьера целесообразно обрабатывать ПЗ на первом этапе подземной разработки (вариант 2 ГС), а при вскрытии вертикальными стволами с поверхности – на заключительном этапе (вариант 3 ГС).

Сравнительная оценка вариантов ГС по предложенным критериям позволяет определять оптимальные параметры и показатели ГГС освоения ПЗ при последовательной схеме комбинированной разработки глубокозалегающих рудных месторождений. Однако они не учитывают социально-экономические и экологические последствия от реализации принятых стратегических решений.

Для оценки экологического эффекта от реализации ГС предложено в качестве критерия принять степень замкнутости соответствующей ГТС. Под замкнутой понимаем такую ГТС, за пределы которой выходит только реализуемый продукт, а образующиеся твердые отходы утилизируются внутри данной ГТС [12]. Факторами, влияющими на замкнутость ГТС, являются: объем образованного выработанного пространства, объем пустой породы из ПНВ и объем хвостов обогащения, используемых в качестве закладочного материала. Тогда показатель замкнутости ГТС η равен отношению суммарного объема отходов V^o к объему пустот V^n , образующихся в i -м варианте ГТС:

$$\eta = V^o_i / V^n_i \rightarrow 1. \quad (3.6)$$

Если $0 \leq \eta \leq 1$, то ГТС замкнута, если $\eta > 1$, то ГТС не замкнута.

Для выбора лучшего варианта ГС выдвинут комплексный эколого-экономический критерий в виде глобального критерия принятия компромиссного решения R , рассчитываемого как сумма баллов по обоим критериям с учетом их веса:

$$R = k_{\text{ЧДД}} r_{\text{ЧДД}} + k_{\eta} r_{\eta} \rightarrow \min, \quad (3.7)$$

Где $r_{\text{ЧДД}}$, r_{η} – рейтинг по критерию ЧДД и η , соответственно; $k_{\text{ЧДД}}$, k_{η} – веса критериев ЧДД и η в глобальном критерии, изменяющиеся от 0 до 1 с условием, что их сумма равна 1, доли ед.

Более высокий рейтинг получает вариант ГС с лучшим значением (минимальным количеством баллов) критерия R , при условии, что $\text{ЧДД} \rightarrow \max$, а $\eta \rightarrow 1$.

Сложность и трудоемкость расчетов, а также многовариантность поставленной задачи обуславливает привлечение современных компьютерных средств, упрощающих и многократно ускоряющих процедуры проведения моделирования и получения результатов. Для этой цели в приложении *Excel* пакета программ *MicrosoftOffice* написана программа «Выбор оптимального варианта геотехнологической стратегии по комплексному эколого-экономическому критерию».

Далее произведено ЭММ и сравнение вариантов 1 – 4 ГС по комплексному эколого-экономическому критерию R. При этом веса критериев ЧДД и η изменялись от 1 до 0, исходя из условия, что их сумма равна 1.

Результаты моделирования приведены в табл. 3.4 и на рис. 3.11.

Таблица 3.4 – Основные показатели вариантов ГС для ранжирования

Показатель	Ед. изм.	Вариант подземной геотехнологии											
		1			2			3			4		
ЧДД	млн руб.	-93			1428			270			812		
$r_{\text{чдд}}$	балл	4			1			3			2		
η	доля ед.	∞			1,15			1,63			1,15		
r_{η}	балл	4			1			3			1		
Весы $k_{\text{чдд}} / k_{\eta}$	доля ед.	1/0	0,5/0,5	0/1	1/0	0,5/0,5	0/1	1/0	0,5/0,5	0/1	1/0	0,5/0,5	0/1
R	ед.	4	4	4	1	1	1	3	3	3	2	1,5	1
Место в рейтинге	-	4	4	4	1	1	1	3	3	3	2	2	1

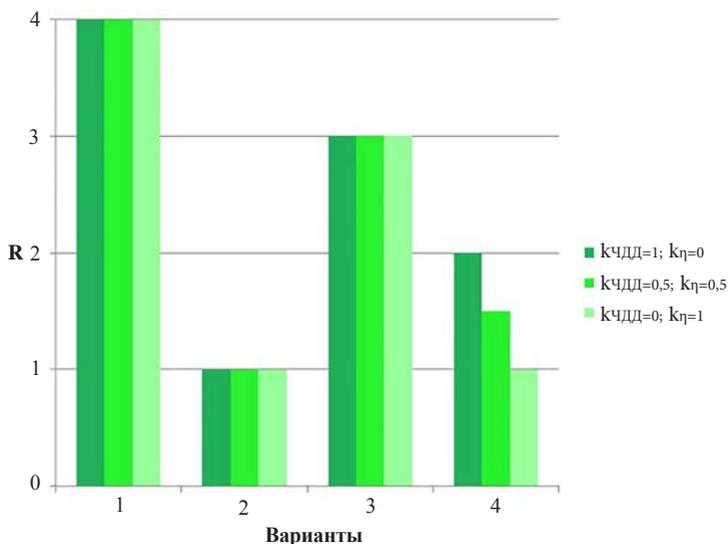


Рисунок 3.11 – Комплексный эколого-экономический критерий R при различных весах $k_{\text{чдд}}$ и k_{η} по вариантам ГС

Сравнение вариантов ГС по комплексному эколого-экономическому критерию R показывает:

– преимущество варианта 2 ГС при всех соотношениях весов $k_{\text{ЧДД}}$ и k_{η} , что обусловлено лучшими показателями ЧДД и η , благодаря применению систем разработки с закладкой, что позволяет утилизировать наибольший объем отходов ГОП;

– по степени замкнутости ГТС ($k_{\text{ЧДД}} = 0$) варианты 2 и 4 ГС равны;

– варианты 1 и 3 ГС проигрывают по обоим показателям как из-за низкой извлекаемой ценности, так и ограниченности (вариант 3) или невозможности (вариант 1) утилизации отходов ГОП при системах разработки с обрушением.

Выводы по главе 3

1. Дано определение переходного процесса при комбинированной разработке как освоение (вскрытие, очистная выемка и погашение) части месторождения с целью перевода горнодобывающего предприятия от одного стабильного состояния к другому; а переходной зоны – как части месторождения, в пределах которой осуществляются организационно-технические и технологические мероприятия, направленные на создание оптимальных условий для освоения основных запасов в стабильном периоде ПГР с учетом специфических факторов и условий, сформированных при ОГР.

2. Систематизированы по признакам – состояние карьера, порядок разработки, способ и схема вскрытия, система разработки ПЗ и ОЗ, способ изоляции выработанного пространства от карьера и способ утилизации отходов ГОП и сконструированы перспективные варианты подземной геотехнологии освоения ПЗ и ОЗ для условий уральского медноколчеданного месторождения, соответствующие вариантам ГС.

3. Разработана методика определения параметров и показателей ГТС освоения ПЗ, включающая технико-экономическую оценку вариантов геотехнологии по критерию максимума ЧДД и предложенному критерию минимума снижения доходности горнодобывающего предприятия в переходный период, учитывающая специфические факторы и условия,

сформированные на предыдущей стадии освоения месторождения, и геотехнологию отработки основных запасов.

4. В результате ЭММ по критерию ЧДД установлено, что оптимальным является вариант ГС, предусматривающий нисходящий порядок отработки, поэтапное вскрытие ПЗ и ОЗ автоуклоном из карьера, разработку ПЗ этажно-камерной системой с твердеющей закладкой под рудным целиком и последующую отработку ОЗ этажно-камерной системой с закладкой под сформированным в пределах ПЗ закладочным массивом. Эффект достигается за счет быстреего ввода рудника в эксплуатацию для освоения ПЗ, отсрочки во времени капложений на вскрытие ОЗ. Уже при отработке ПЗ образуется доход, составляющий 32% от общего дохода по варианту ГС. Подтверждена нецелесообразность вскрытия вертикальными стволами с поверхности при последовательной схеме комбинированной разработки медноколчеданных месторождений с относительно небольшими запасами (до 20 млн т).

5. Выполненная эколого-экономическая оценка вариантов ГС по комплексному эколого-экономическому критерию показала, что предложенная подземная геотехнология позволяет утилизировать в выработанном пространстве наибольшее количество отходов горно-обогатительного производства, образованных в рамках ГТС.

Внесен вклад в развитие основ геотехнологической стратегии освоения переходных зон при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений, состоящий в систематизации, формировании и конструировании вариантов геотехнологии с учетом специфических факторов и условий, сформированных при открытых горных работах, с целью обеспечения оптимальных условий при освоении запасов на нормальной стадии развития подземных горных работ, и в установлении на основе экономико-математического моделирования оптимальной геотехнологической стратегии по критерию интегрального эффекта от освоения переходной зоны и основных запасов месторождения.

Список литературы по главе 3

1. Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых / под научной редакцией акад. РАН К.Н. Трубещкого. – М.: ИПКОН РАН. 2014. – 196 с.
2. Каплунов Д. Р. Комбинированная геотехнология / Д. Р. Каплунов, В. Н. Калмыков, М. В. Рыльникова. – М.: Руда и металлы. – 2003. – 558 с.
3. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2018. – 360 с.
4. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2. – С. 5 – 14. – DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.112.
5. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / В. Л. Яковлев, И. В. Соколов, Г. Г. Саканцев, И. Л. Кравчук // Горный журнал. – 2017. – №7. – С. 46–50.
6. Волков Ю. В. Подземная разработка медноколчеданных месторождений Урала / Ю. В. Волков, И. В. Соколов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 232 с.
7. Соколов И. В. Принципы формирования и критерий оценки геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 9. – С. 151 – 160.
8. Волков Ю. В. Проектные решения по доработке Молодежного месторождения подземным способом / Ю. В. Волков, И. В. Соколов, В. Д. Камаев // Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 37 – 40.
9. Геотехнологическая стратегия подземной разработки Тарыннахского и Горкитского месторождений / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин [и др.] // Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России: Горный информационно-аналитический бюллетень. – Вып. 3. – Специальный выпуск № 15. – 2015. – С. 167 – 179.
10. Методология выбора подземной геотехнологии освоения переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин // Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 22 – 26.
11. Никитин И. В. Оптимизация параметров вскрытия при подземной разработке подкарьерных запасов кимберлитового месторождения // Проблемы недропользования. – 2017. – № 1. – С. 21 – 28. – DOI:10.18454/2313-1586.2017.01.021.
12. Стратегия освоения железорудных месторождений эколого-ориентированной подземной геотехнологией / И. В. Соколов, Н. В. Гобов, Ю. Г. Антипин, Ю. М. Соломенн // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 2. – С. 282 – 295.

ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ И ЭТАПОВ АДАПТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ

4.1. Обоснование методов и этапов адаптации транспортных систем карьеров с автомобильным транспортом

Специфика освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что их разработка продолжается десятки лет, как правило, начинается с открытой геотехнологии, в условиях непрерывного роста глубины рабочей зоны карьера, нарастанием геологической, горнотехнической и технологической информации, требующих безусловного выделения этапов формирования карьерного пространства, изменения параметров систем разработки, формирования транспортной системы карьера путем применения новых видов транспорта и т.д., то есть практически пересмотра большинства принятых проектных решений, уточнения глубины карьера и, как правило, перехода к подземной или комбинированной разработке месторождения.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ [1, 2, 3], что требует, наряду с изменением горнотехнических условий, периодического перехода на новые параметры техники и технологии с целью адаптации горнотехнической системы к изменяющимся условиям функционирования горно-обогатительного производства [4].

Переходные процессы характеризуются изменением структуры и параметров транспортной системы в ответ на изменяющиеся внешние и внутренние факторы (повышение себестоимости вслед за углублением карьера, рост цен на энергоресурсы и т.п.). Одним из вариантов адаптации к повышающейся себестоимости является переход на применение автосамосвалов большей или меньшей грузоподъемности, что приводит как к изменению себестоимости тонно-километровой работы, так и к корректровке контуров карьера.

Объём конечного контура карьера во многом определяется углом погашения его борта. Чем меньше этот угол, тем больше его разнос и соответственно больше объём дополнительно извлекаемой вскрыши, что влечет за собой дополнительные затраты на её извлечение. Если в рабочей зоне на параметры бортов карьера влияют параметры основного горного обораживания и технология ведения вскрышных и добычных работ, то при постановке бортов в конечное положение ведущее влияние оказывают параметры транспортных берм (ширина и уклон), а значит параметры применяемого транспорта.

В связи со всё расширяющимся применением карьерного автомобильного транспорта актуален вопрос установления рациональных его параметров, обеспечивающих экономичную отработку месторождения открытым способом. Решение этой задачи возможно в укрупненном виде путем нахождения такого типоразмера автосамосвалов, который будет соответствовать минимуму затрат на отработку месторождения.

С увеличением грузоподъемности карьерных автосамосвалов, с одной стороны, снижается себестоимость перевозок (в расчете на 1 т*км), с другой стороны, увеличивается ширина транспортных берм, а значит и объемы вскрыши.

Следовательно, новым вкладом в развитие теории будет установление закономерностей изменения уровня затрат на добычу полезных ископаемых с глубиной карьера при различных его параметрах в зависимости от типоразмера применяемых на технологических перевозках карьерных автосамосвалов.

На рис. 4.1 наглядно показан разнос борта карьера при увеличении ширины транспортной бермы под самосвал большей грузоподъемности. Транспортная берма Ш₁ соответствует поперечному сечению карьера, эксплуатирующему меньший по грузоподъемности автосамосвал, Ш₂ – больший. Углы погашения бортов $\alpha_1 > \alpha_2$.

С учетом того, что, как правило, автосамосвалы большей грузоподъемности обеспечивают меньшие затраты на 1 т*км, общий экономический эффект от перехода на автосамосвалы большей или меньшей грузоподъемности может быть как положительным, так и отрицательным и зависит от параметров карьера и автосамосвалов. Так, на рис. 4.2 показано изменение объема горной массы в контурах карьера и затрат на

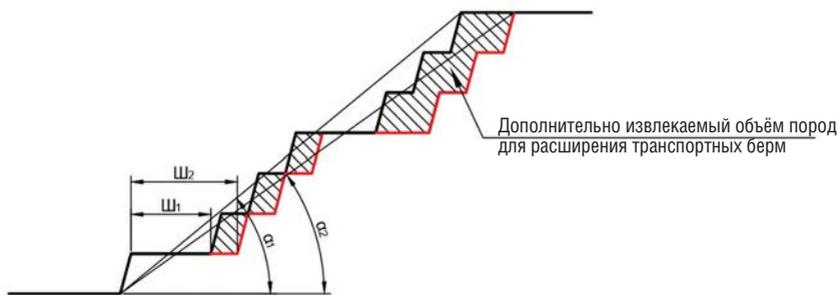


Рисунок 4.1 – Поперечные сечения бортов карьеров, эксплуатирующих различные по грузоподъёмности автосамосвалы (красным показан контур борта для автосамосвалов большей грузоподъемности/ширины)

транспортирование при переходе с автосамосвалов грузоподъемностью 55 т на автосамосвалы грузоподъемностью 136 т.

Следовательно, для принятия обоснованных решений при выборе грузоподъемности карьерных автосамосвалов необходимо установить соответствующие зависимости изменения себестоимости горных работ с глубиной при различных параметрах карьера с учетом как себестоимости 1 т*км, так и разноса бортов.

Расчеты выполнялись для модельных карьеров, общие параметры которых приведены в табл. 4.2. С целью изучения переходных явлений, возникающих при различных глубинах, рассматривались несколько разных по глубине и размерам в плане карьеров.

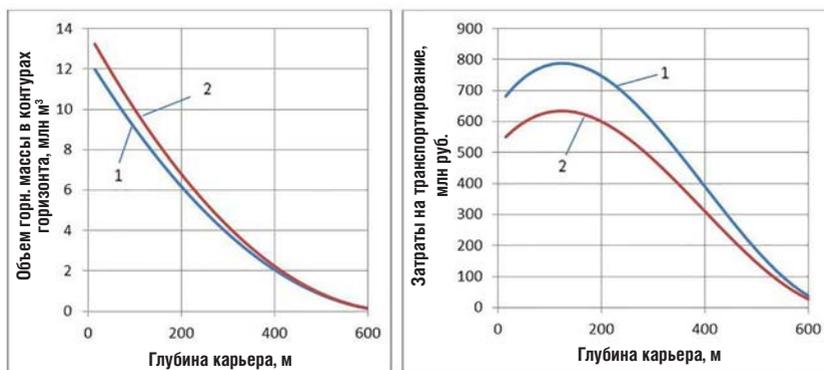


Рисунок 4.2 – Изменение объема карьера и затрат на транспортирование горной массы по вариантам грузоподъемности автосамосвалов: 1 – 55 т, 2 – 136 т

Таблица 4.2 – Общие для всех расчетных карьеров параметры

Параметр	Значение
Высота уступов, м	15
Угол откоса уступов, град.	75
Тип трассы	Спиральная
Руководящий уклон трассы, %	8
Длина площадок примыкания автомобильной трассы, м	50
Форма дна карьера	Круг

Влияние грузоподъемности автосамосвалов на разнос бортов карьера оценивалось через ширину транспортных берм, рассчитанных по нормам СП37.13330.2012 для категории автодорог Пк (основная автомобильная дорога предприятия открытой горной разработки с расчетным объемом перевозок от 5,0 до 15,0 млн т нетто/год), которая, в свою очередь, зависит от ширины автосамосвалов (табл. 4.3). Более подробно этот вопрос описан в исследовании [5].

Таблица 4.3 – Принятые для исследования автосамосвалы и соответствующие им ширины транспортных берм

Автосамосвал	Грузоподъемность, т	Ширина транспортной бермы, м
БелАЗ-7540А	30	15
БелАЗ-75450	45	20,9
БелАЗ-7555В	55	23,1
БелАЗ-75570	90	26,1
БелАЗ-7513	136	29,5
БелАЗ-75170	160	31,2
БелАЗ-7518	180	31,8
БелАЗ-75302	220	35,0
БелАЗ-75602	360	41,0

Расчет объема карьеров по вариантам проводился с использованием аналитической методики [6], доработанной авторами статьи [7] для снижения погрешности расчетов с 10 – 18% до 2 – 4%.

Структура затрат на ведение горных работ принята следующим образом:

$$Z_{\text{гор}} = Z_{\text{тр}}(\text{var}) + Z_{\text{бвр}}(\text{const}) + Z_{\text{экс}}(\text{const}) + Z_{\text{проч}}(\text{const}), \text{ руб.}, \quad (4.1)$$

где $C_{огр}$ – полная себестоимость добычи товарной руды, руб./т;

$Z_{тр}$ – затраты на транспортирование руды и вскрыши, руб.;

$Z_{бвр}$, $Z_{экс}$, $Z_{проч}$ – затраты соответственно на буровзрывные работы (БВР), экскавацию и прочие общекарьерные расходы на весь объем вскрышных и добычных работ, руб.;

(*var*), (*const*) – указание на то, принимается величина переменной или постоянной.

Поскольку основная цель исследований связана с влиянием транспорта на суммарные затраты, было принято допущение, что $Z_{бвр}$, $Z_{экс}$, $Z_{проч}$ одинаковы для всех горизонтов.

Себестоимость транспортирования горной массы зависит от расстояния, а соответственно, при постоянном руководящем уклоне – от высоты подъема, поэтому все расчеты проводились погоризонтно. Вывозка горной массы рассчитана до точки выхода автомобильной трассы на дневную поверхность. Для каждого конкретного горизонта себестоимость принималась как величина постоянная с учетом средневзвешенного расстояния доставки по горизонту и рассчитывалась по формуле:

$$C_{тр} = C_{ткм} \cdot L_i \cdot V_i \cdot \gamma_{гм}, \text{руб.}, \quad (4.2)$$

где $C_{ткм}$ – себестоимость перевозки карьерным автосамосвалом данной грузоподъемности при данном руководящем уклоне съездов (принимался 8%), руб./т*км;

L_i – дальность транспортирования с i -го горизонта, км;

V_i – объем горной массы на i -м горизонте карьера, м³;

$\gamma_{гм}$ – средняя плотность горной массы, т/м³.

Тонно-километровая себестоимость $C_{ткм}$ принималась на основе выполненных ранее с применением компьютерного моделирования исследований [8] в виде регрессионных моделей и рассчитывалась для каждой грузоподъемности автосамосвала индивидуально.

Капитальные затраты учитывались через амортизационные отчисления, включенные в себестоимость всех основных процессов горных работ и транспорта.

В рамках данной статьи будем называть полными затратами на извлечение горной массы сумму затрат на транспортирование, БВР, экскавацию и общекарьерные расходы согласно формуле (4.1).

На рис. 4.3 представлены результаты расчета изменения полных затрат между вариантами отработки карьера с применением автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 90 т и 136 т. Рассматривалось погоризонтное изменение глубины до проектной отметки 600 м и высоты уступа 15 м.

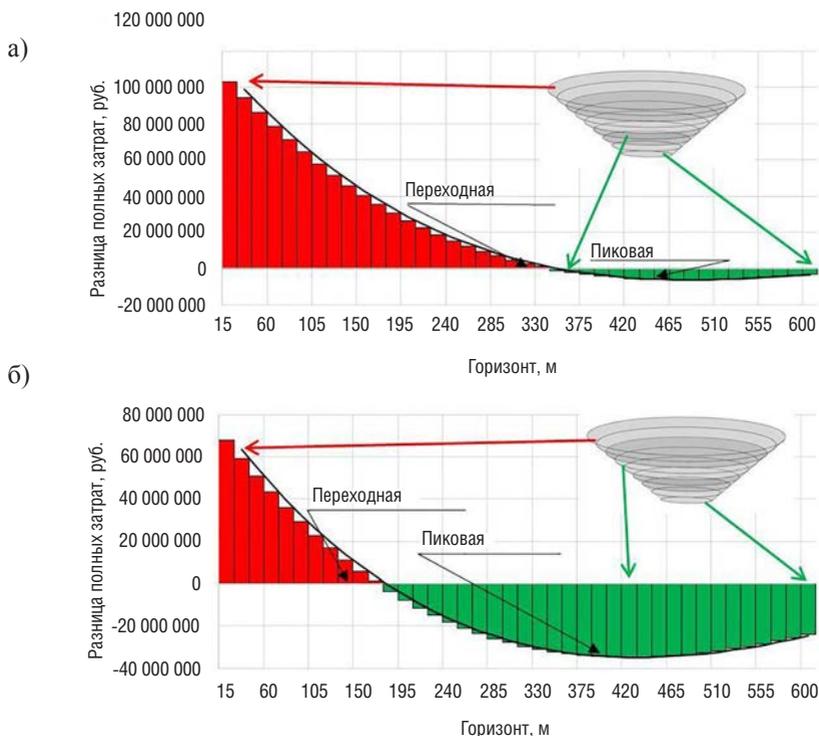


Рисунок 4.3 – Погоризонтное распределение разницы в полных затратах на горные работы между вариантами с большей и меньшей грузоподъемностью карьерных автосамосвалов (стрелками показано соответствие характерных горизонтов карьера точкам на графике)
 а) карьер с диаметром дна 100 м;
 б) карьер с диаметром дна 300 м

У карьера с расширенными транспортными бермами (применение автосамосвалов большей грузоподъемности) полные затраты на разработку

верхних горизонтов будут выше, чем у карьера с узкими бермами. Это происходит в силу того, что на верхних горизонтах даже при небольшом изменении угла разноса борта концентрируется большая часть дополнительной вскрыши. С глубиной объёмы дополнительной вскрыши уменьшаются, протяженность автодорог возрастает, и всё большее влияние оказывают расходы на транспорт. Полные затраты при этом уменьшаются и на каком-то горизонте становятся равнозначны затратам для автосамосвалов меньшей грузоподъемности (на рис. 3.3 обозначена как «переходная глубина»).

Переходная глубина для варианта «а» составляет 330 м, для варианта «б» – 165 м. Также примечателен объём экономии денежных средств ниже переходной глубины (площадь под графиком). В случае «б» он не только больше, чем в «а», он также больше, чем дополнительные затраты на разработку вышележащих горизонтов, что говорит о целесообразности такого перехода для данного карьера.

На нижележащих горизонтах наблюдается устойчивая экономия затрат, которая достигает пиковых значений выше проектной отметки дна карьера и затем несколько снижается из-за резкого уменьшения объемов горной массы и уменьшения доли расходов на транспорт. Стоит также отметить, что отметка переходной глубины будет тем меньше, а общая экономия тем больше, чем больше разница в себестоимости транспортирования между рассматриваемыми вариантами и чем больше объём карьера.

Целесообразность перехода на автосамосвал большей грузоподъемности зависит от суммарной экономии, если она превысит дополнительные затраты, которые можно рассчитать как площадь «под» графиком функции изменения полных затрат от глубины карьера.

Рассмотрим влияние конечной глубины карьера на разницу полных затрат за весь срок его отработки при смене грузоподъемности автосамосвалов с большей на меньшую. Актуальность этого вопроса определяется необходимостью отработки глубинных запасов для ограниченных в плане месторождений при сохранении экономической эффективности. Одно из решений – переход на последней стадии отработки на автосамосвалы меньшей грузоподъемности и уменьшение ширины транспортных берм в нижней части карьера.

Графики на рис. 4.4 показывают изменение полных затрат на добычу полезного ископаемого при сравнении вариантов применения автосамосвалов большей и меньшей грузоподъемности (повышение грузоподъемности автосамосвалов). Видна общая тенденция: с ростом конечной глубины (объёма) карьера наблюдается переход от неэффективности данного решения для карьеров небольшой и средней глубины (до 400 – 600 м), а затем применение автосамосвалов большей грузоподъемности становится эффективным, даже несмотря на необходимость разноса бортов карьера под более широкие транспортные бермы.

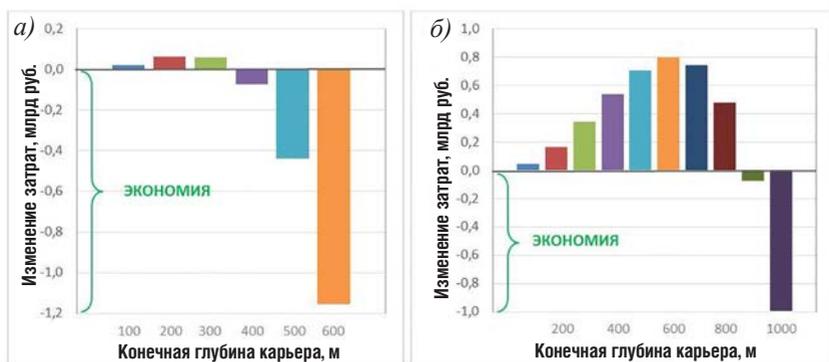


Рисунок 4.4 – Изменение полных затрат на горные работы в результате смены автосамосвала с меньшей на большую грузоподъемность при различной конечной глубине карьера (карьер округлой формы с диаметром дна 100 м)
 а – смена самосвалов грузоподъемностью 55 т на 90 т,
 б – смена самосвалов грузоподъемностью 90 т на 136 т

Это говорит о том, что даже при существенной экономии на разносе бортов карьера значительное возрастание глубины, а значит и расстояния транспортирования, сводит эффективность малых автосамосвалов к минимуму. Следовательно, при большой глубине необходимо применять схемы с перегрузкой из малых автосамосвалов, работающих в нижней части карьера, в автосамосвалы большей грузоподъемности для магистральной доставки руды на поверхность. Это справедливо для тех горнотехнических и регионально-инфраструктурных условий, где рассматривается применение только автомобильного технологического

транспорта. В иных условиях целесообразно рассматривать применение комбинированного автомобильно-железнодорожного или автомобильно-конвейерного транспорта.

Теоретически ширина транспортной бермы изменяется непрерывно и плавно в зависимости от изменения грузоподъемности автосамосвала. Но поскольку модельный ряд автосамосвалов дискретен, то и ширина бермы при изменении грузоподъемности по моделям меняется скачкообразно и неравномерно. При этом изменение себестоимости транспортирования вслед за изменением грузоподъемности не согласуется с изменением ширины, что связано с особенностями массогабаритных параметров моделей каждой конкретной марки самосвалов. Характерный пример – замена 30-тонных автосамосвалов на 45-тонные: снижение себестоимости за счет изменения грузоподъемности в 1,5 раза превосходит дополнительные затраты на разнос бортов во всех случаях.

Приведенные результаты исследований справедливы для тех карьеров, где форма бортов карьера жестко связана с шириной транспортных берм. Это в большинстве своем карьеры, обрабатываемые по углубочной системе разработки с относительно небольшими размерами в плане, спиральной формой трассы автодорог и конструктивными углами откоса бортов меньше, чем устойчивые по геомеханическим параметрам. На рис. 3.4 приведены результаты для соседних пар грузоподъемности из модельного ряда автосамосвалов БелАЗ, тем не менее, разработанная методика может применяться для расчета любых других сочетаний параметров автосамосвалов и параметров карьеров. Одним из таких параметров может быть уклон транспортных берм.

В табл. 4.4 приведен ряд факторов (изменяющихся горно-геологических, горнотехнических и горно-технологических условий), влияющих на эффективность добычи полезных ископаемых относительно транспортной системы карьера (ТСК) и смежных процессов открытых горных работ. Ключевым методом, позволяющим компенсировать негативное влияние, является комплексная оптимизация параметров горнотехнической системы в целом и отдельных ее элементов. Реализация принятых оптимизационных решений является переходным процессом [9], который в данном случае будет адаптацией системы к изменяющимся условиям.

Таблица 4.3 – Принятые для исследования автосамосвалы и соответствующие им ширины транспортных берм

Фактор	Влияние	Способы учета (адаптации) в части ведения добычи	Положительный эффект
Увеличение материальных и энергетических затрат на доставку горной массы по мере понижения горных работ	Увеличение затрат на добычу полезного ископаемого, риск неосвоения всех промышленных запасов месторождения из-за достижения предельной себестоимости	Изменение технологической схемы транспорта на основе многовариантного сравнения прогнозных вариантов	Снижение себестоимости транспортирования и, следовательно, повышение эффективности добычи и экономически целесообразной глубины отработки месторождения (полноты освоения месторождения)
Изменение требуемой производительности карьера по руде и, следовательно, производительности горнотранспортной системы вслед за конъюнктурными изменениями рынка	Колебания парка машин, количества производственного персонала, сложности в планировании вскрышных и добычных работ	Использование резервов повышения производительности и снижения себестоимости функционирования горнотехнической системы, выявляемых при детальном компьютерном моделировании, рациональное управление параметрами рабочей зоны карьера, в т.ч. за счет временно нерабочих участков бортов	Обеспечение стабильности или плавного изменения количества горнотранспортных машин
Снижение производительности по мере отработки запасов месторождения в глубинной части из-за снижения фронта горных работ	Недозагрузка обогатительных мощностей, снижение прибыли, риск недоработки всех запасов из-за низкой эффективности	Оптимизация режима ведения горных работ для поддержания возможно высоких объемов добычи на завершающей стадии отработки карьера, в т.ч. оптимизация перехода от открытых к подземным горным работам при последовательной комбинированной разработке месторождения	Улучшение технико-экономических показателей на завершающей стадии отработки месторождения
		Открытие малых карьеров в районе крупного действующего обогатительного производства для поддержания объемов выпуска товарной продукции	Дозагрузка обогатительных мощностей, сохранение рентабельности функционирования предприятия

Фактор	Влияние	Способы учета (адаптации) в части ведения добычи	Положительный эффект
Снижение содержания полезных компонентов в руде по мере понижения горных работ	Увеличение затрат на переработку руды, риск недоработки всех запасов из-за низкой эффективности	1. Увеличение производительности карьера по полезному ископаемому. 2. Снижение затрат на транспорт за счет оптимизации его параметров	Поддержание плановых объемов выпуска готовой продукции на выходе обогатительного передела, снижение затрат на добычу, что в сумме обеспечит сохранение рентабельности производства
Увеличение прочности пород и устойчивости откосов уступов с глубиной (по мере понижения горных пород)	Возможно увеличение затрат на буровзрывные работы и снижение эффективности добычи	Увеличение углов откоса нижней части бортов карьера и за счет этого дополнительная углубка карьера с вовлечением дополнительного объема полезного ископаемого, что повысит суммарный доход от разработки месторождения	Добыча дополнительного объема прибортовых и подкарьерных запасов полезного ископаемого за счет оптимизации формы карьера. Продление срока существования горнодобывающего предприятия
Снижение безопасности ведения горных работ для персонала в глубинной части карьера, особенно при применении сверхвысоких уступов	Риск травмирования персонала	Применение горных и транспортных машин с роботизированным управлением, не требующих присутствия людей в опасной зоне ведения горных работ	Снижение риска для персонала, сохранение производительности в сложных горнотехнических условиях

Адаптация, как переходный процесс в ТСК, является реакцией на изменение природных, технологических, технических, экологических, экономических, финансовых и социальных факторов, которая выражается в тенденции установления приемлемого уровня функционирования систем. Под приемлемым понимается такой уровень, который обеспечивает динамическое равновесие показателей функционирования транспортных систем с внешней средой и выполнение целевой функции (или набора

целевых функций). Целевые функции, как правило, определяют уровень эффективности системы.

Адаптация ТСК имеет несколько иерархических уровней, соответствующих различным этапам управления сложным объектом:

1. Параметрическая адаптация связана с регулированием параметров элементов системы без изменения их структуры и относится, как правило, к краткосрочному временному интервалу.

2. Структурная адаптация осуществляется путем изменения структуры ТСК, относится, как правило, к долгосрочной перспективе и связана с изменением технологической схемы транспорта, изменением видов транспорта или зон их функционирования.

3. Структурно-параметрическая адаптация. Включает в себя элементы, соответственно, структурной и параметрической адаптации.

Теоретико-методическая цель вышеуказанной оптимизации состоит в прогнозировании поведения и развития горнотранспортной системы, основу чему составляет моделирование в различных видах.

Ядром методики параметрической адаптации ТСК является универсальная интерактивная имитационная модель функционирования сложных горнотранспортных систем карьеров, позволяющая решать широкий круг задач горнорудного производства [10 – 12]. Моделирование заключается в дискретном воспроизведении процесса функционирования горнотранспортной системы карьера. Универсальность модели заключается в следующем:

1. Модель разработана для всех основных видов карьерного транспорта и для их сочетаний (автомобильного, железнодорожного, конвейерного, автомобильно-железнодорожного, автомобильно-конвейерно-железнодорожного).

2. Модель может использоваться как для оптимизации параметров транспортных систем карьеров, так и для принятия рациональных решений, которые вырабатываются за счет обеспечения оператора достаточно развитой для этих целей логикой и интерактивного вмешательства в организацию транспортного процесса.

3. Поскольку модель дискретно воспроизводит горнотранспортный процесс и не ориентирована на решение узкоспециализированных задач, она является универсальной и может использоваться при обосновании са-

мых различных параметров ТСК на основе методов планирования экспериментов.

В вопросах имитационного моделирования транспортных процессов можно выделить 2 класса задач. Один связан с оптимизацией какого-либо параметра процесса, а другой – с обеспечением достижения цели при условии бесконфликтного протекания процесса. В первом случае на основе априорной информации или эксперимента можно решать задачу оптимизации. Во втором – процессы развиваются в условиях неопределенности, что не позволяет решать задачу оптимизации процесса. Это требует наличия логики поведения, которая позволила бы оперативно реагировать на возникающие возмущения и принимать такие решения, которые, с одной стороны, дают возможность достижения цели, с другой – могут гарантировать бесконфликтное развитие процесса и более совершенное его протекание [13].

Важным звеном методов структурной адаптации горнотранспортных систем являются методики технико-технологического и технико-экономического сравнения и выбора рационального варианта транспортной системы карьера. Предлагаемый комплекс методик позволяет с высокой точностью прогнозировать технологические и технико-экономические параметры перспективных видов транспорта (даже таких, опыт применения которых отсутствует или является ограниченным). Ядром методики являются модели:

- функционирования транспортных единиц;
- функционирования транспортных систем;
- экономико-математическая модель горнотранспортной системы карьера.

Путем реализации каждой из вышеуказанных моделей можно получить эксплуатационные, а на их основе и технико-экономические показатели функционирования транспортной системы, как с единым, так и с комбинированным транспортом. Методика позволяет решать как прямые (расчет технико-экономических показателей транспорта в заданных горнотехнических условиях), так и обратные задачи (например, обоснование областей эффективного применения тех или иных видов транспорта).

Учет большого количества факторов позволяет более точно определять стадии и планировать моменты адаптационного изменения ТСК.

Ключевым звеном методики является поиск рациональных параметров системы. Особенность транспортных систем карьеров заключается в том, что большинство задач не являются в явном виде оптимизационными, т.е. решаемыми путем отыскания экстремума функции ключевых показателей (минимума или максимума). Часто функция является монотонно возрастающей или монотонно убывающей, либо изменение параметра после прохождения экстремума функции незначительно, и в реальных условиях практически равнозначные по рассматриваемому показателю решения могут быть приняты в широком диапазоне.

На рис. 4.5 приведен пример методического обеспечения принятия решения о выборе параметров транспортных коммуникаций для транспортирования горной массы из карьера. Рассматривается карьер со значительными пространственными размерами в длину и ширину, поэтому в диапазоне 5 – 8% уклон автодорог не будет оказывать определяющего влияния на разнос бортов. Очевидным параметром для принятия решения о значении продольного уклона автодорог является себестоимость транспортирования. Путем имитационного моделирования движения автосамосвала БелАЗ грузоподъемностью 130 т по дорогам с различным уклоном и технико-экономических расчетов установлена зависимость удельных затрат на перевозку 1 т горной массы. Однако она для рассматриваемого карьера имеет широкую область минимума затрат в диапазоне средневзвешенных уклонов 4,5 – 7,5%, что не позволяет определить точное значение.

Задача решается введением в область рассмотрения дополнительного параметра – комплексного коэффициента эффективности, отражающего эффективность использования энергии топлива для выполнения транспортной работы в единицу времени (измеряется в Вт/МДж).

Важным элементом методов адаптации ТСК к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений является комплексный учет факторов и комбинирование методик и способов адаптации. Так, совместное использование усовершенствованной методики технико-экономического сравнения видов транспорта и инновационных решений в области геотехнологии (для примера в табл. 4.4 приведены некоторые из них) позволило установить, что на карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения, циклично-поточную технологию с автомобильно-конвейерным транспортированием руды

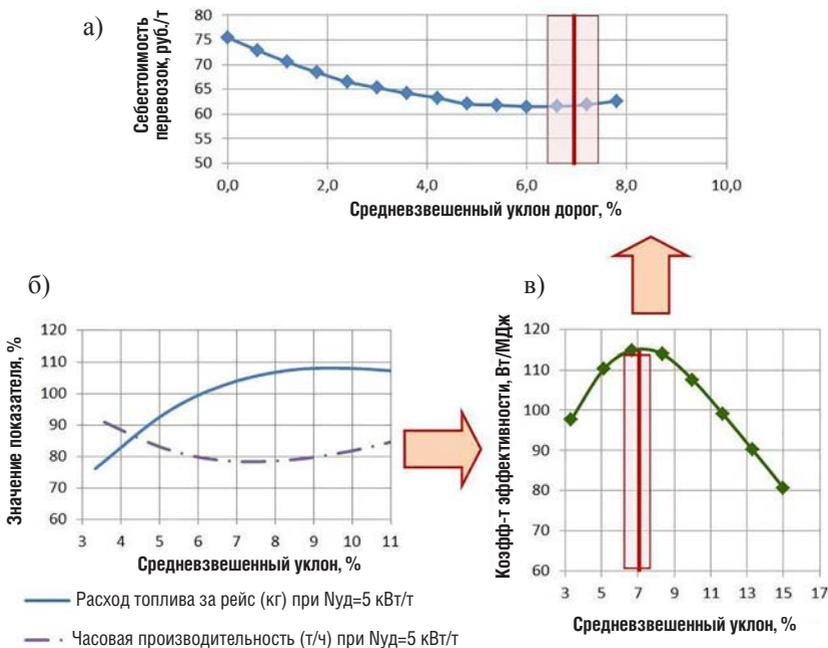


Рисунок 4.5 – Определение рационального уклона автодорог для конкретного карьера: а) Себестоимость транспортирования; б) Зависимость расхода топлива и производительности автосамосвала от средневзвешенного уклона; в) Зависимость коэффициента эффективности от средневзвешенного уклона

целесообразно вводить с самого начала ее добычи. Прежде считалось, что конвейерный транспорт на карьерах целесообразно использовать с глубины 150 м и более. Это свидетельствует о том, что установленные зоны рационального применения различных видов карьерного транспорта не являются неизменными и в дальнейшем могут уточняться, что предполагает гибкий подход в целом к общей теории формирования ТСК.

4.2. Исследование переходных процессов формирования транспортной системы карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений с использованием автомобильно-конвейерного транспорта

В Советском Союзе на железорудных карьерах Украины типовой была схема ЦПТ с размещением ленточных конвейерных подъемников в наклон-

ных стволах и квершлагах. Наклонные стволы размещаются за конечными контурами карьеров, а конвейеры в квершлагах заходят в нижнюю часть железобетонных колодцев дробильно-перегрузочных пунктов, оборудованных конусными дробилками и размещаемых на временно нерабочих участках бортов. Достоинством этой схемы является возможность разработки целиков пород под дробильно-перегрузочными пунктами после того, как пункты завершат работу и будут демонтированы, без влияния взрывных работ на подъемник в наклонном стволе. Недостатком такого размещения конвейерных подъемников являются большие затраты на подземные конвейерные выработки, а также выработки для их проветривания и водоотлива.

Установлено, что при использовании этой схемы ЦПТ более эффективным является размещение ленточных конвейерных подъемников в открытых выработках на конечных бортах карьеров. Дробильно-перегрузочные пункты, как и при размещении конвейерных подъемников в подземных выработках, необходимо размещать на временных целиках пород. С конвейерным подъемником, расположенным в выработке на конечном борту карьера, они должны быть связаны с помощью передаточных конвейеров, также расположенных в выработках на конечном борту карьера. Недостатком этой схемы ЦПТ является необходимость выемки дополнительных объемов вскрышных пород при формировании вскрывающих выработок и перегрузочных площадок на наконечных бортах карьеров. В ИГД УрО РАН были разработаны способы строительства ленточных конвейерных подъемников на конечных бортах карьеров, позволяющие свести эти объемы к минимуму.

В Узбекистане в карьере Мурунтау был использован дробильно-конвейерный комплекс, оборудованный двумя ленточными конвейерными подъемниками, расположенный на временно нерабочем борту карьера. Горная масса из автосамосвалов перегружалась на подъемники через дробильно-перегрузочные пункты, оборудованные короткоконусными дробилками. После того, как противоположный борт карьера был поставлен на конечный контур, на нем был смонтирован дробильно-конвейерный комплекс с крутонаклонным конвейером длиной 370 м, установленным под углом наклона 37°. Производительность комплекса 3500 тонн горной массы в час или 16 миллионов тонн в год. Перед подачей на подъемник горная масса проходит дробление в шнекозубчатой дробилке. Дробильно-конвейерный ком-

плекс с ленточными конвейерными подъемниками демонтирован, а борт под ним разрабатывается с выдачей горной массы на поверхность дробильно-конвейерным комплексом с крутонаклонным конвейером.

В России в Оленегорском карьере дробильно-конвейерный комплекс был расположен на конечном борту карьера с размещением ленточного конвейерного подъемника в наклонном стволе. В настоящее время этот подъемник на высоту 125 м удлинен крутонаклонным конвейером длиной 252 м, расположенным на конечном борту карьера под углом 36° . Перед поступлением на подъемник горная масса на дробильно-перегрузочном пункте проходит стадии крупного и среднего дробления. В Ковдорском карьере дробильно-конвейерный комплекс с ленточным конвейерным подъемником, первоначально расположенный на временно нерабочем борту карьера, в дальнейшем также будет демонтирован, а при доработке карьера будет использован дробильно-конвейерный комплекс с крутонаклонным конвейерным подъемником, расположенным на конечном борту карьера. На Стойленском карьере дробильно-конвейерный комплекс с двумя ленточными конвейерными подъемниками был расположен на временно нерабочем борту карьера. По нему на поверхность были выданы основные объемы руды и скальной вскрыши в карьере. После того, как этот комплекс был демонтирован, законсервированный участок борта разрабатывают с использованием автомобильного транспорта.

Рассмотренные выше примеры разработки глубоких с большими размерами в плане карьеров по циклично-поточной технологии с использованием ленточных и крутонаклонных конвейерных подъемников подтверждают эффективность разработки их первоначально с использованием ленточных конвейерных подъемников с размещением дробильно-перегрузочных пунктов или дробильно-конвейерных комплексов на временно нерабочих участках бортов или бортах карьера. Доработку карьеров эффективнее осуществлять с размещением дробильно-конвейерных комплексов, оборудованных крутонаклонными конвейерными подъемниками, расположенными на конечных бортах карьеров. Практикой подтверждена возможность монтажа этих подъемников на опорах, расположенных на предохранительных бермах карьера. Разгрузочные площадки автосамосвалов совмещаются с предохранительными бермами карьера и граничат с разворотными площадками капитального съезда. Такое использование дробильно-конвей-

ерных комплексов ЦПТ обеспечивает ранний ввод их в эксплуатацию и доработку карьера без выемки для их размещения на бортах карьера дополнительного объема вскрышных пород.

В ИГД УрО РАН обоснован новый способ разработки глубоких горизонтов карьеров по циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейерным подъемником (рис. 4.6) [14]. Способ включает следующие переходные процессы. Полезное ископаемое автосамосвалами транспортируют на дробильно-перегрузочный пункт (ДПП) 1 на конечном борту в торце карьера. Здесь его через дробилки крупного дробления перегружают на конвейер 2, установленный под углом наклона конечного борта в торце карьера, которым доставляют на поверхность. После того, как под дробильно-перегрузочным пунктом 1 на достаточную глубину будет сформирован конечный борт карьера, конвейерный подъемник 2 удлиняют подъемным конвейером 5, установленным под углом наклона конечного борта, с размещением его хвостовой части на временном целике пород 4. Над хвостовой частью подъемного конвейера 5 на временном целике пород 4 устанавливают новый дробильно-перегрузочный пункт 3 с разгрузочной площадкой автосамосвалов на насыпи вскрышных пород. Полезное ископаемое из другого торца карьера автосамосвалами транспортируют на дробильно-перегрузочный пункт 3, а вскрышные породы на поверхность. После того как в этом торце карьера образуется горизонт конечного дна карьера достаточной площади, на этом горизонте устраивают внутренний отвал вскрышных пород 6. Дробильно-перегрузочный пункт 3 на временном целике пород 4 и подъемный конвейер 5 демонтируют. Целик пород 4 разрабатывают с транспортированием автосамосвалами вскрышных пород на внутренний отвал 6, а полезного ископаемого на дробильно-перегрузочный пункт 1 на конечном борту карьера. После разгрузки автосамосвалов на отвале 6 они во время обратного рейса заезжают в забои на нижних уступах 7 временного целика пород 4, где их загружают полезным ископаемым, которое они транспортируют на дробильно-перегрузочный пункт 1 на конечном борту карьера с выдачей его на поверхность верхним конвейерным ставом 2. После разгрузки на дробильно-перегрузочном пункте во время обратного рейса автосамосвалы заезжают в забои на верхних уступах 8 временного целика пород 4, где их экскаваторами загружают вскрышными породами, которые они транспортируют на внутренний отвал 6.

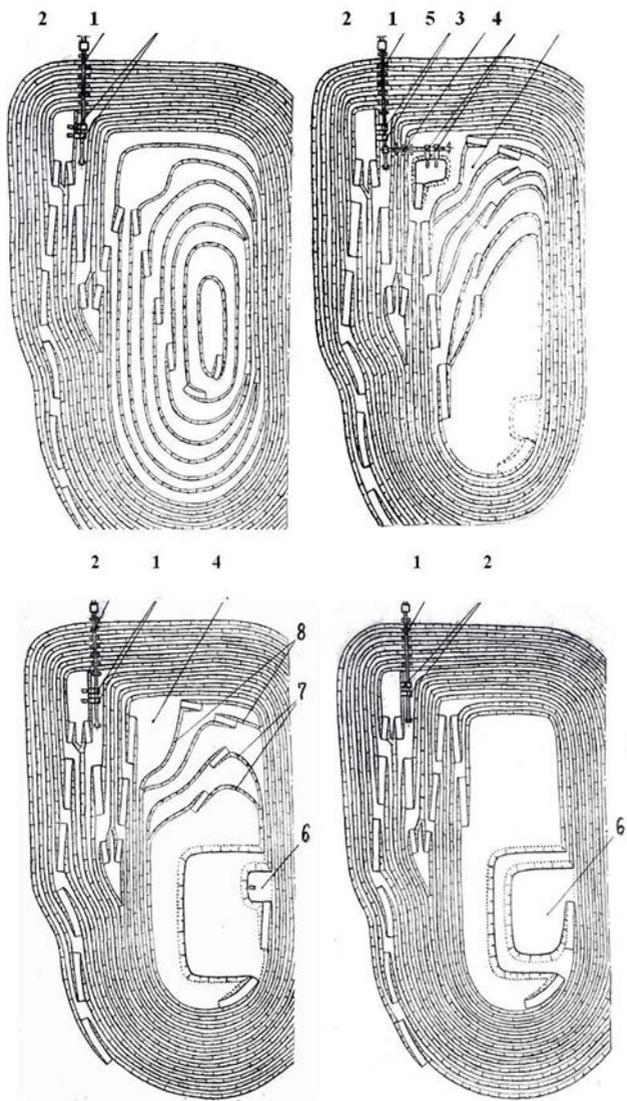


Рисунок 4.6 – Переходные процессы разработки глубоких горизонтов карьера по циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейерным подъемником и внутрикарьерным складированием вскрышных пород: 1, 3 – ДПП; 2, 5 – крутонаклонные конвейеры; 4 – временный целик пород под ДПП; 6 – отвал вскрышных пород; 7 – уступы с полезным ископаемым; 8 – вскрышные уступы

Использование этого способа позволяет снизить затраты на разработку глубокозалегающих, вытянутых в плане месторождений полезных ископаемых с использованием автомобильно-конвейерного транспорта и внутреннего складирования вскрышных пород. Это достигается за счет уменьшения длины холостого пробега автосамосвалов при разработке временного целика пород под нижним дробильно-перегрузочным пунктом.

На карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения с ограниченной длиной в плане, дробильно-конвейерный комплекс с ленточным конвейерным подъемником эффективно может быть использован с его размещением только на конечном борту в верхней части карьера. Это связано с необходимостью размещения ленточного конвейерного става на прямолинейном участке борта карьера. Для выдачи скальной горной массы из нижней части карьера эффективно может быть использован только крутонаклонный конвейерный подъемник, угол наклона которого совпадает с углом наклона конечного борта карьера. На рис. 4.7 представлен переходный процесс разработки карьера по циклично-поточной технологии с ленточным конвейерным подъемником 1 к доработке карьера с использованием крутонаклонного конвейерного подъемника 2.

На карьерах, разрабатывающих крутопадающие, залегающие относительно на небольшой глубине, с малой площадью в плане залежи полезных ископаемых, для выдачи полезного ископаемого с нижних горизонтов эффективно может быть использован дробильно-конвейерный комплекс с одним крутонаклонным конвейером. Конвейер размещают на конечном борту карьера таким образом, чтобы его хвостовая часть была расположена на горизонтальной берме параллельно уступу борта карьера со стороны лежачего бока залежи полезного ископаемого, к которому примыкает ДПП, и нижележащему уступу (рис. 4.8). Это исключает необходимость оставления под нее целика пород с потерей в нем части объема полезного ископаемого. При этом автомобильный съезд в верхней части карьера необходимо сформировать с петлевой трассой, с целью исключить его пересечение с трассой конвейера. Это обеспечит минимальное расстояние от съезда до мест монтажа подъемника на опорах, расположенных на предохранительных бермах карьера, и совмещение капитального съезда с заездом автосамосвалов на разгрузочную площадку дробильно-перегрузочного пункта.

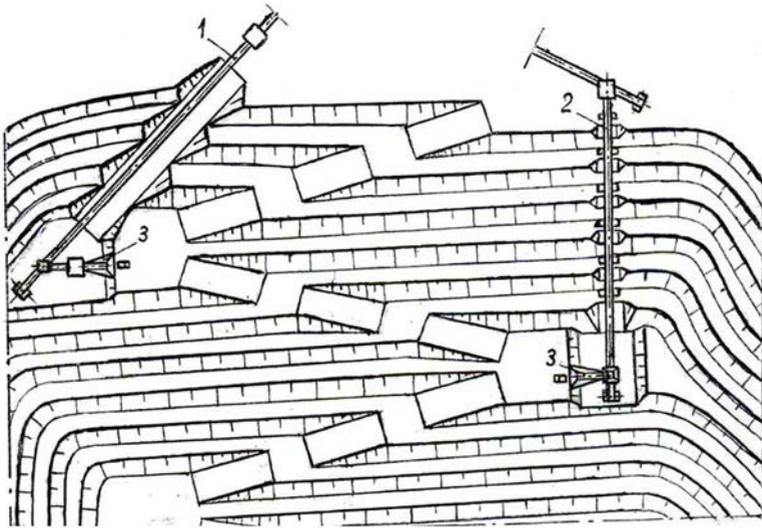


Рисунок 4.7 – Переходный процесс разработки карьера по циклично-поточной технологии с применением ленточного конвейерного подъемника к его доработке с применением крутонаклонного конвейерного подъемника; 1, 2 – ленточный и крутонаклонный конвейерные подъемники, соответственно; 3 – ДПП

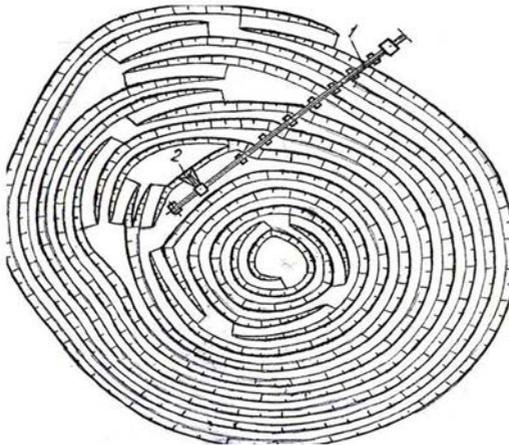


Рисунок 4.8 – Карьер в отработанном виде, нижняя часть которого разработана с использованием дробильно-конвейерного комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером; 1 – крутонаклонный конвейер; 2 – ДПП

При разработке крутопадающих, глубокозалегающих, с малой площадью в плане месторождений полезных ископаемых требуется выемка больших объемов вскрышных пород в верхней части карьера. Для их разработки рационально использовать автосамосвалы большой грузоподъемности и соответствующее им горное оборудование. В то же время для разработки полезного ископаемого и прилегающих к нему вскрышных пород требуется использование автосамосвалов относительно малой грузоподъемности и соответствующих им экскаваторов. Их использование также требуется для разработки временных целиков пород, образуемых под съездом для автосамосвалов большой грузоподъемности по глубине в средней части карьера. При таком залегании полезного ископаемого для выдачи его с глубоких горизонтов на поверхность может быть использован автомобильно-конвейерный транспорт с использованием крутонаклонного конвейерного подъемника, а скальные вскрышные породы, доставляемые с этих горизонтов автосамосвалами малой грузоподъемности, могут быть размещены на транспортных бермах для автосамосвалов большой грузоподъемности.

На рис. 4.9 представлен карьер с переходными процессами его формирования, когда основной объем вскрышных пород разработан с использованием автосамосвалов большой грузоподъемности, а объем полезного ископаемого и вскрышных пород в нижней части карьера разработан при использовании автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, преодолевающих повышенный уклон. Полезное ископаемое из этих автосамосвалов перегружают на дробильно-конвейерный комплекс с крутонаклонным конвейером до поверхности, а вскрышные породы из нижней части карьера частично или полностью складировать на берме широкого капитального автомобильного съезда.

При выдаче из нижней части карьера примерно одинаковых объемов скальных руды и вскрышных пород и размещении дробильно-обогажительной фабрики и отвала вскрышных пород на противоположных сторонах от карьера могут быть использованы два крутонаклонных конвейерных подъемника. Устройство такого карьера, разработанного в ИГД УрО РАН, представлено на рис. 4.10 [15]. Карьер включает борт 1 с капитальным автомобильным съездом 2, расположенным между трассами крутонаклонных конвейерных подъемников 3 и 4. Трассы подъемников расположены по границам этого борта с противоположными друг другу

бортами карьера 5 и 6. Подъемники служат для выдачи на поверхность руды и вскрышных пород. Борт карьера также включает площадки 7 и 8 дробильно-перегрузочных пунктов 9 и 10, служащих для дробления, соответственно, скальных руды и вскрышных пород. Капитальный автомобильный съезд одновременно является заездом с поверхности и груженых автосамосвалов из рабочей зоны карьера на разгрузочные площадки обоих дробильно-перегрузочных пунктов.

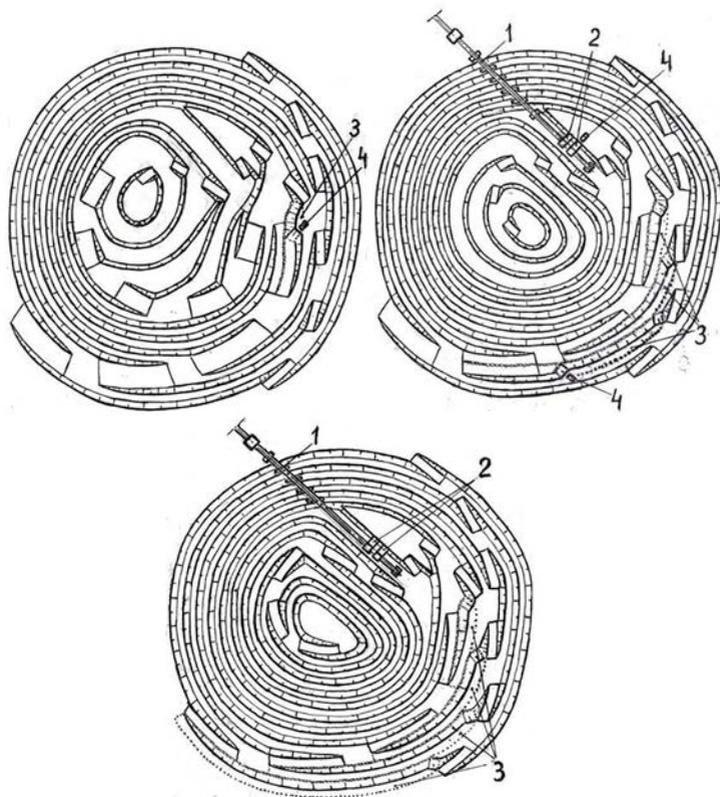


Рисунок 4.9 – Переходные процессы разработки основного объема карьера с использованием автомобильного транспорта и внутрикарьерным складированием вскрышных пород, а полезного ископаемого с глубоких горизонтов с использованием автомобильно-конвейерного транспорта: 1 – крутонаклонный конвейер; 2 – ДПП; 3 – вскрышные породы, складированные на берме автомобильного съезда для автосамосвалов большой грузоподъемности; 4 – автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой

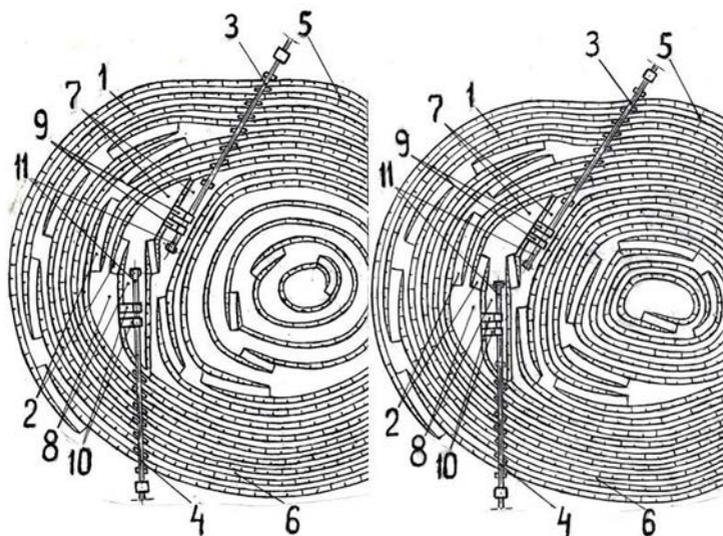


Рисунок 4.10 – Карьер после перехода к доработке его глубоких горизонтов с использованием дробильно-конвейерных комплексов ЦПТ с крутонаклонными конвейерными подъемниками, выходящими на поверхность на противоположные стороны карьера: 1 – борт карьера с капитальным автомобильным съездом; 2 – капитальный автомобильный съезд; 3, 4 – крутонаклонные конвейерные подъемники; 5, 6 – противоположные борта карьера; 7, 8 – площадки дробильно-перегрузочных пунктов; 9, 10 – дробильно-перегрузочные пункты; 11 – хвостовые части крутонаклонных конвейерных подъемников

Новое устройство карьера позволяет исключить формирование на его конечных бортах дополнительных транспортных берм от капитального съезда до перегрузочных площадок дробильно-перегрузочных пунктов скальных руды и вскрышных пород с выемкой большого дополнительного объема вскрышных пород.

4.3. Исследование переходных процессов формирования транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений с использованием автомобильного транспорта

4.3.1. При разработке месторождений с большими размерами в плане

При разработке таких месторождений может оказаться неэффективным использование циклично-поточной технологии с автомобильно-кон-

вейерным транспортом. Причиной этого может быть отсутствие устойчивых бортов карьеров для размещения на них дробильно-конвейерных комплексов, наличие в них трещин и разломов, возможность сдвижения пород. В этом случае более эффективным может быть разработка карьера с использованием только автомобильного транспорта.

На карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие вытянутые и с большими размерами в плане месторождения полезных ископаемых с использованием автомобильного транспорта, эффективно использовать внутрикарьерное складирование вскрышных пород с их размещением на горизонте конечной глубины. Отвал пород размещают на части конечного дна карьера в объеме разноса под него бортов карьера (рис. 4.11).

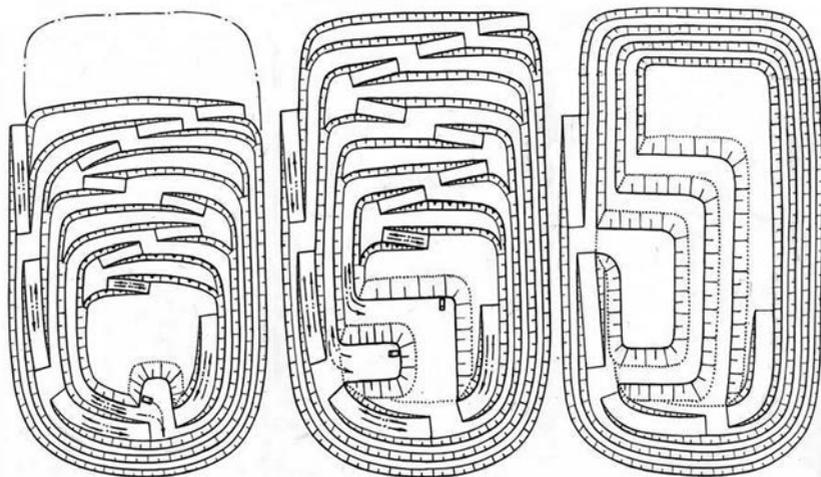


Рисунок 4.11 – Переходные процессы формирования карьерного пространства с отвалом вскрышных пород на горизонте конечного дна карьера с использованием автосамосвалов малой грузоподъемности и транспортированием полезного ископаемого на поверхность автосамосвалами большой грузоподъемности

Если при разработке полезного ископаемого и основного объема вскрышных пород таких карьеров эффективно использовать автосамосвалы большой грузоподъемности, то при складировании вскрышных пород в ограниченное пространство карьера при небольшом расстоянии их транспортирования рациональным является использование автосамосвалов

относительно малой грузоподъемности. При их использовании бермы с узкими автомобильными съездами будут консервировать небольшие объемы горной массы, а рабочий борт карьера можно будет разрабатывать при большом угле его наклона, что позволит увеличить площадь для размещения вскрышных пород. Первоначально при формировании каждого нового яруса внутреннего отвала маневры автосамосвалов перед установкой на разгрузку осуществляются на горизонтальной площадке капитального съезда в карьере.

Если разработка такого карьера будет осуществляться без внутреннего складирования вскрышных пород, то рациональным является использование автосамосвалов большой грузоподъемности с размещением автомобильного съезда на временном целике пород с поверхности до горизонта конечной глубины карьера. После разработки всего объема полезного ископаемого с использованием большегрузных автосамосвалов целик пород с полезным ископаемым под съездом для этих автосамосвалов разрабатывают с использованием автосамосвалов малой грузоподъемности. В качестве таких автосамосвалов эффективным является использование автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, преодолевающих повышенный уклон. На конечных бортах карьера может быть сформирован съезд, под который не потребуются выемка вскрышных пород от разноса бортов. В ИГД УрО РАН разработано устройство автомобильного съезда, расположенного на конечных бортах карьера и полностью совмещенного с двумя наклонными предохранительными бермами карьера (рис. 4.12) [16].

На карьерах, разрабатывающих округлые с большими размерами в плане месторождения полезных ископаемых, использование при доработке карьера автосамосвалов малой грузоподъемности позволяет складировать вскрышные породы на части горизонта проектной глубины карьера (рис. 4.13). При этом съезд между горизонтом конечной глубины карьера и смежным горизонтом первоначально может быть сформирован на рудном целике пород. По мере формирования отвала вскрышных пород съезд между этими горизонтами формируют и на нем, после чего рудный целик под съездом разрабатывают. При таком размещении съезда исключается разнос под него конечного борта карьера с выемкой большого объема вскрышных пород.

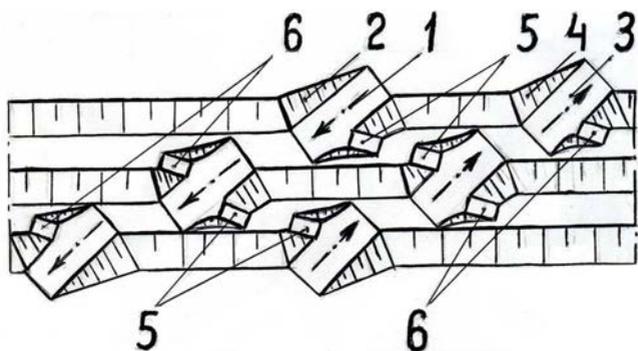


Рисунок 4.12 – Автомобильный съезд в карьере: 1 – порожняковая ветвь съезда, расположенная в полутрассе 2; 3 – грузовая ветвь съезда, расположенная в полутрассе 4; 5 – съезды для вспомогательной техники, связывающие порожняковую 1 и грузовую 3 части съезда; 6 – дополнительные съезды, связывающие ветви 1 и 3 съезда с предохранительными бермами карьера

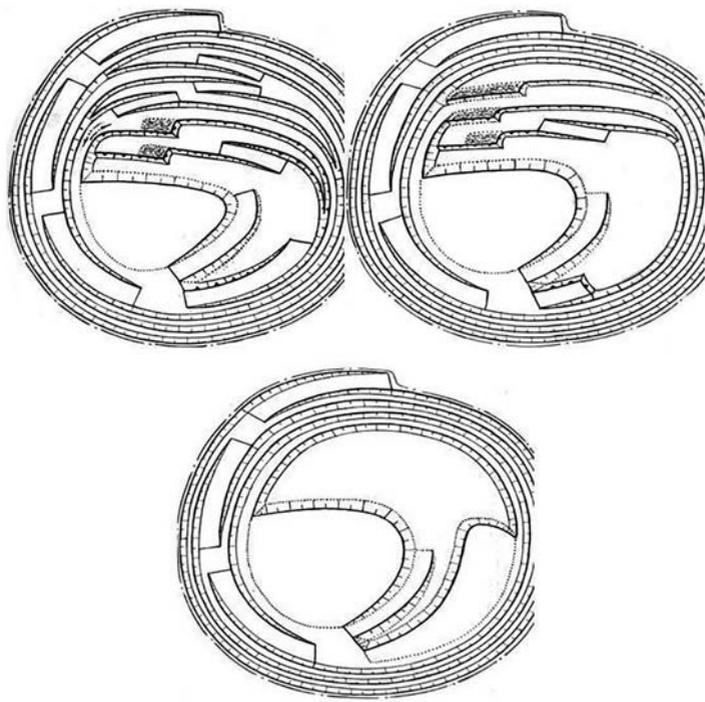


Рисунок 4.13 – Формирование внутреннего отвала вскрышных пород на конечном дне карьера, вскрываемого первоначально с размещением съезда на рудном целике

4.3.2. При разработке месторождений с малыми размерами в плане

При разработке глубокозалегающих месторождений с малыми размерами в плане эффективным является одновременное использование автосамосвалов большой и малой грузоподъемности. При этом автосамосвалы большой грузоподъемности используются только в верхней части карьера при разработке вскрышных пород. Автосамосвалы малой грузоподъемности используются при разработке полезного ископаемого и прилегающих к нему вскрышных пород с их транспортированием на поверхность или с внутрикарьерной перегрузкой в большегрузные автосамосвалы.

Использование в нижней части карьера автосамосвалов малой грузоподъемности с шарнирно-сочлененной рамой позволяет уменьшить объем вскрыши в контуре карьера в сравнении с обычными колесными автосамосвалами такой же грузоподъемности или увеличить проектную глубину карьера без выемки дополнительных объемов вскрыши. Они могут быть использованы как для выдачи горной массы на поверхность, так и с ее перегрузкой в карьере в автосамосвалы большой грузоподъемности (рис. 4.14).

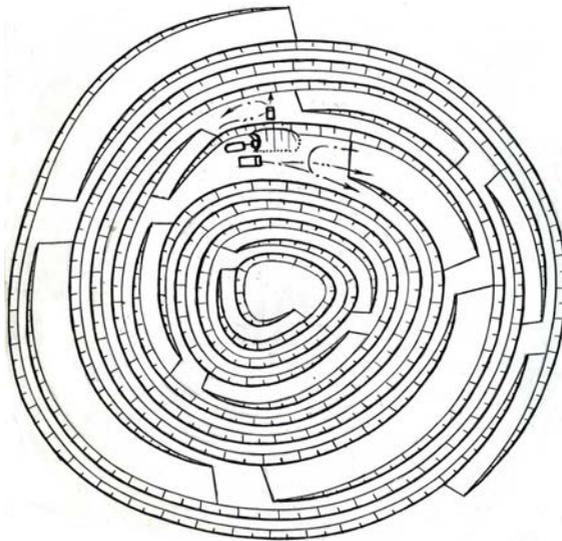


Рисунок 4.14 – Карьер, доработанный с выдачей горной массы автосамосвалами с шарнирно-сочлененной рамой на поверхность и внутрикарьерную перегрузку в автосамосвалы большой грузоподъемности

Использование при разработке глубокозалегающих месторождений с малыми размерами в плане автосамосвалов большой и малой грузоподъемности с размещением съездов для автосамосвалов большой грузоподъемности на конечных бортах только в верхней части позволяет использовать бермы съездов для таких автосамосвалов для складирования вскрышных пород, доставляемых с глубоких горизонтов автосамосвалами малой грузоподъемности. В ИГД УрО РАН запатентованы устройства бортов карьера с бермами съездов для автосамосвалов большой и малой грузоподъемности, позволяющие складировать вскрышные породы, доставляемые с глубоких горизонтов карьера обычными колесными автосамосвалами малой грузоподъемности и автосамосвалами, преодолевающими повышенный уклон, на бермах съездов для автосамосвалов большой грузоподъемности [17, 18].

Возможны случаи, когда на конечных бортах глубоких карьеров, разрабатывающих глубокозалегающие крутопадающие месторождения полезных ископаемых, даже в их верхней части нерационально формировать бермы со съездами для автосамосвалов большой грузоподъемности из-за выемки большого объема вскрыши. В ИГД УрО РАН запатентован способ вскрытия глубоких карьеров (рис. 4.15) [19], при котором берма со съездом для автосамосвалов большой грузоподъемности в верхней части карьера по ширине размещается частично 2 на конечных бортах карьера, а частично 1 на временных целиках пород. Параллельно этому съезду на рабочих бортах карьера устраивают съезд 3 для автосамосвалов малой грузоподъемности. Когда в нижней части карьера съезд для автосамосвалов большой грузоподъемности перестанет вписываться в ограниченное карьерное пространство, часть 1 этого съезда, расположенную на временном целике пород, срабатывают с транспортированием горной массы на поверхность автосамосвалами малой грузоподъемности по съезду 3 на рабочем борту карьера. На части 2 съезда, расположенной на конечном борту карьера, формируют съезд для автосамосвалов малой грузоподъемности. Съезд 3 с рабочего борта перемещают на конечный борт карьера с формированием на нем крутого съезда 4 для движения автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, при этом горную массу транспортируют по съезду 2 для автосамосвалов малой грузоподъемности на конечном борту карьера.

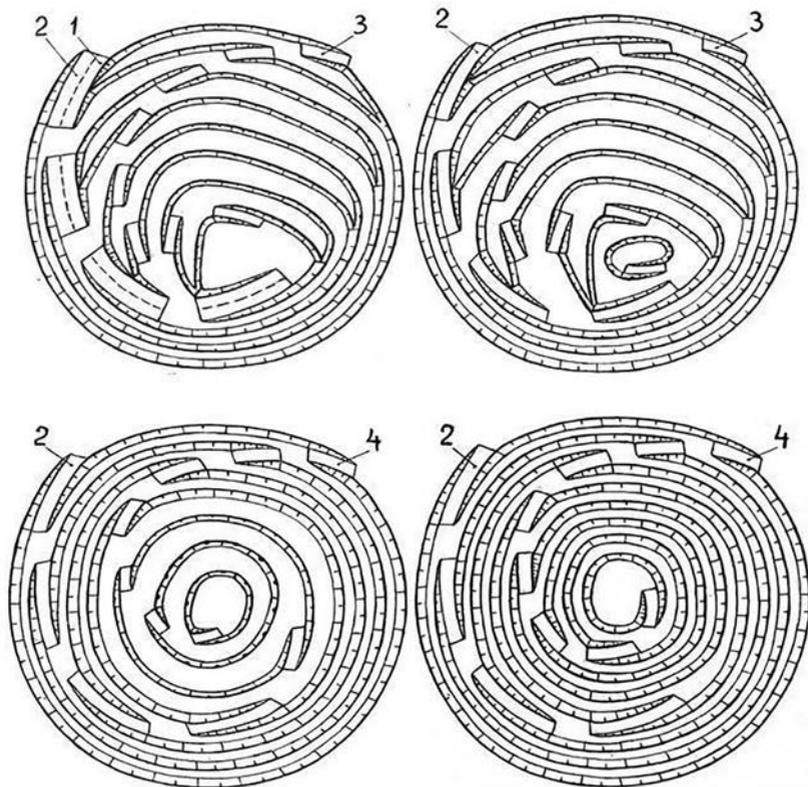


Рисунок 4.15 – Переходные процессы вскрытия глубоких карьеров: 1 – часть съезда для автосамосвалов большой грузоподъемности, расположенной на временном целике пород; 2 – часть съезда для автосамосвалов большой грузоподъемности, расположенная на конечном борту карьера; 3 – съезд для автосамосвалов малой грузоподъемности; 4 – съезд для автосамосвалов с шарнирно-сочлененной рамой

При использовании этого способа вскрытия основной объем горной массы в карьере выдается на поверхность автосамосвалами большой грузоподъемности с минимальными эксплуатационными расходами. В то же время на конечных бортах карьера отстраиваются только бермы для автосамосвалов малой грузоподъемности и для автосамосвалов, преодолевающих повышенный уклон с выемкой при этом минимального объема вскрышных пород.

Одним из характерных видов переходных процессов в жизненном цикле освоения месторождения полезных ископаемых является момент достиже-

ния карьерами первоначальной проектной отметки с применением определенной проектом первоначальной технологии разработки и технологической схемы транспорта. Наступает этап принятия решения о дальнейшем развитии горных работ либо завершении освоения месторождений.

Сценарии развития этого переходного периода и, соответственно, формирования переходной зоны отработки месторождения представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Варианты доработки подкарьерных запасов месторождений с учетом переходных процессов

Сценарий	Преимущества	Особенности	Условия применения
I. Доработка подкарьерных запасов путем углубки карьера	Добыча до-полнительных объемов руды	Углубка карьера осуществляется за счет увеличения углов откоса бортов в нижней зоне карьера путем оптимизации транспортных коммуникаций. Разнос бортов в верхней части не осуществляется.	1. Запасы руды под дном карьера недостаточны для эффективной работы подземного рудника. 2. Параметры карьера и стоимость полезного ископаемого позволяют осуществить углубку нижней части карьера.
II. Доработка месторождения подземным способом с формированием переходной зоны карьера, дорабатываемой с углубкой дна	Обеспечение ДОФ рудой открытым способом на период строительства и ввода в эксплуатацию подземного рудника	Углубка карьера осуществляется за счет увеличения углов откоса бортов в нижней зоне карьера путем оптимизации транспортных коммуникаций (повышение уклонов съездов с одновременным сокращением их протяженности, применение однополосных съездов и др.)	1. Горнодобывающие предприятия, на которых решение о строительстве подземного рудника принято на последних стадиях отработки карьера, либо предприятия, где строительство и ввод рудника в эксплуатацию затягиваются на 3 – 5 лет. 2. Надежное разделение шахтного и карьерного пространства при обеспечении устойчивости выработок. 3. Запасы руды, оставляемые после углубки карьера, достаточны для эффективной работы подземного рудника.
III. Доработка подземным способом		Необходимо заблаговременное планирование и проектирование рудника, а также ввод его в эксплуатацию к моменту окончания открытых горных работ.	Месторождения со значительными запасами под дном карьера, обеспечивающие длительный срок эксплуатации рудника и окупаемость инвестиций в подземное строительство.

Второй вариант является в определенной мере классическим, хотя в настоящее время разрабатываются и фрагментарно применяются технологии вскрытия нижней части месторождения подземными транспортными выработками, проведенными из пространства карьера.

Первый вариант в настоящее время имеет ограничения по применению из-за отсутствия технологий существенной углубки карьера [20]. В этом направлении сформулированы следующие варианты:

- увеличение углов откоса нижней части карьера за счет оптимизации системы автомобильных съездов при повышении их уклонов;

- бестраншейное вскрытие нижней зоны карьера за счет применения специального грузоподъемного транспорта, устраиваемого на уступах карьера без формирования транспортных берм (например, кабельные краны или специальные подъемники).

Одним из вариантов технологии доработки карьера является применение крутонаклонных съездов, что позволяет при реконструкции нижней зоны добиться увеличения углов откоса бортов. Такая технология требует применения специальной техники: полноприводных колесных автосамосвалов либо гусеничных самосвалов.

4.4. Особенности решения транспортной проблемы алмазородных карьеров Якутии

В работах ИГД УрО РАН и Института «Якутнипроалмаз» при обосновании научно-технической базы проектирования карьерного транспорта для национального стандарта «Разработка алмазородных месторождений в криолитозоне. Требования к проектированию», инициированного компанией «АЛРОСА», представлен анализ опыта проектирования и эксплуатации транспортных систем алмазородных карьеров. Основным методическим подходом является необходимость перехода от принципа «выбор вида карьерного транспорта» к принципу «обоснование последовательного формирования транспорта» в течение всего срока отработки месторождения.

Добыча открытым способом на глубинах 500–700 м, к которым подошли алмазородные карьеры криолитозоны, неэффективна при сохранении устаревших требований к проектированию. Особенно остро это сказывается на карьерном транспорте, который на этапе эксплуатации месторождения фор-

мирует до 50% себестоимости добычи товарной руды и неразрывно связан с параметрами карьера и режимом горных работ.

Уникальность условий разработки алмазородных месторождений в криолитозоне обусловлена:

- природными условиями районов с суровым климатом;
- сложностью и многообразием геологических характеристик залежей и вмещающих пород отдельных месторождений;
- отсутствием развитой инфраструктуры (главным образом, транспортной) в районах расположения большинства месторождений;
- отсутствием в регионе расположения кимберлитовых месторождений предприятий по разработке мощных месторождений других видов минерального сырья, что не позволяет формировать объединенные территориальные комплексы;
- наличием «беднотоварных» и/или малообъемных месторождений с низким содержанием или малыми запасами алмазов, удаленных от действующих пунктов переработки кимберлитовой руды;
- необходимостью учета небольших размеров в плане и значительной глубины месторождений, когда доля дополнительных объемов вскрышных работ за счет увеличения угла откоса бортов карьера существенна.

В научно-методическом плане решение транспортной проблемы глубоких карьеров имеет следующую специфику: вместо решения задачи о выборе вида транспорта (по технико-экономическим критериям), как она обычно формулировалась многие годы, необходимо обоснование последовательного формирования транспортных систем карьеров в течение всего срока отработки месторождения в соответствии с приведенными в работах принципами [21 – 23], обеспечивающими:

- стабильное функционирование карьеров и ГОКов в целом по мере углубки и неоднократной реконструкции карьеров (этапности отработки);
- минимизацию объемов вскрыши при отработке карьеров на большую глубину;
- снижение затрат на транспортирование горной массы;
- высокие темпы ведения горных работ.

Практика показала, что в условиях отсутствия разветвленной транспортной инфраструктуры Якутии, высоких темпов понижения горных работ и наличия богатых месторождений высокоценного сырья целесо-

образно применение автомобильного карьерного транспорта в расширенном диапазоне условий эксплуатации (высота подъема до 600 – 750 м, дальность транспортирования до 20 км). Однако переход к освоению «беднотоварных» месторождений (с невысоким содержанием полезного ископаемого) требует искать более экономичные схемы транспортирования.

В связи с этим в настоящее время на алмазородных карьерах в криолитозоне (АК «АЛРОСА») сформировалась следующая практика использования автомобильного транспорта (рис. 4.16). Исторически сложилась ориентация на карьерные автосамосвалы с колесной формулой 4×2 (задний привод) грузоподъемностью 45 – 136 т.

До недавнего времени на карьерах АК «АЛРОСА» не было четкого разделения на внутрикарьерный и поверхностный транспорт, доставка руды на фабрику осуществлялась либо напрямую карьерным транспортом из забоев, либо от промежуточных рудных складов карьерными автосамосвалами. В связи с необходимостью освоения большого количества так называемых «беднотоварных» месторождений (месторождений, товарная ценность руды в которых ниже уровня, рентабельного для строительства обогатительной фабрики вблизи карьера), которые, как правило, расположены на удалении 20 – 200 км от существующих обогатительных мощностей, возникла необходимость ввода магистрального звена транспорта для снижения затрат. Расчеты ИГД УрО РАН показали, что наиболее экономичным видом транспорта для перевозки руды от удаленных кимберлитовых месторождений к существующим обогатительным фабрикам являются магистральные автопоезда грузоподъемностью 90 – 150 т [24]. Прогнозировалось снижение себестоимости т*км в 2 раза по сравнению с карьерными автосамосвалами. Опытно-промышленная эксплуатация автопоездов полностью это подтвердила.

Начиная с 2005 г., Институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» с привлечением ИГД УрО РАН проводятся научно-исследовательские и опытно-промышленные работы по внедрению крутонаклонного вскрытия месторождений с применением полноприводных автосамосвалов, а в перспективе – гусеничных самосвалов [25 – 28].

Область применения для данной технологии полноприводных шарнирно-сочлененных самосвалов ограничена 300 – 500 м по высоте подъема (дальность транспортирования до 5 км) с уклонами 15 – 25%. Однако при

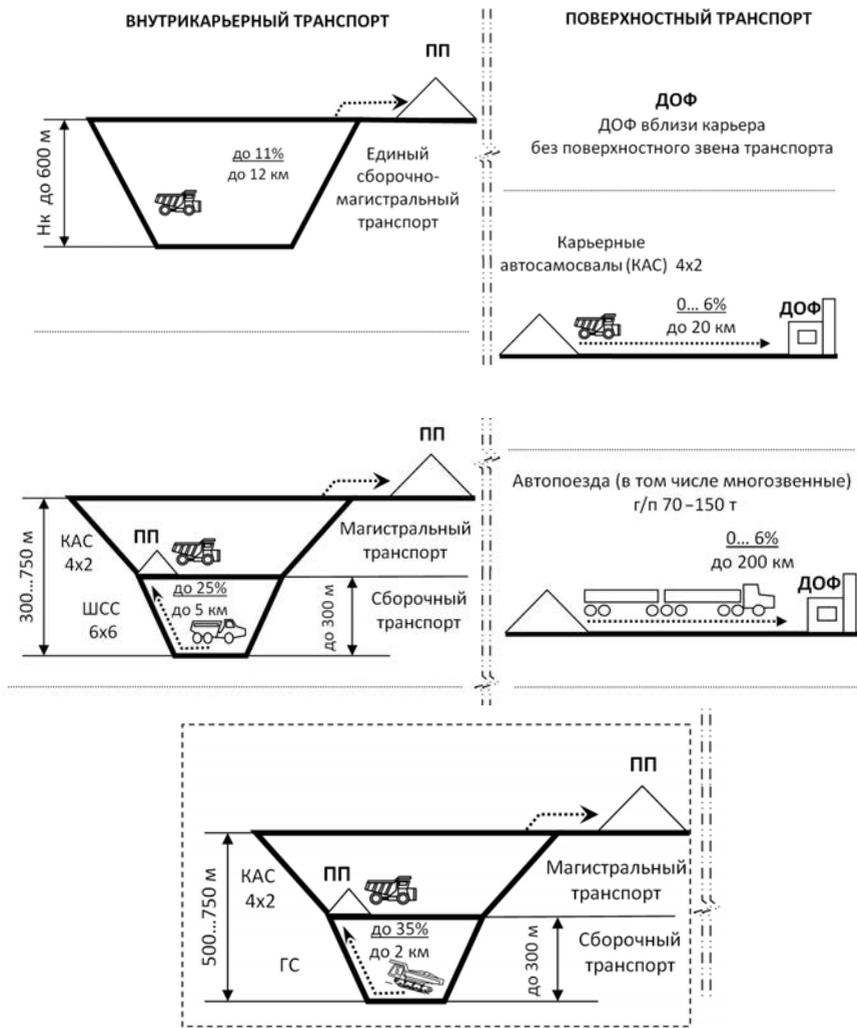


Рисунок 4.16 – Практика применения автомобильного транспорта на карьерах АК «АЛРОСА» (с учетом перспективы на 20 лет)

Условные обозначения: «11% / 12 км» – условия транспортирования: уклон до 11%, дальность – до 12 км; КАС 4×2 – карьерный автосамосвал с колесной формулой 4×2; ШСС 6×6 – шарнирно-сочлененный автосамосвал с колесной формулой 6×6; ГС – гусеничный самосвал; ДОФ – дробильно-обогащительная фабрика; ПП – перегрузочный пункт (внутрикарьерный, либо промежуточный рудный склад на поверхности).

наличии положительного опыта эксплуатации возможно расширение области его применения.

Область применения гусеничных самосвалов (ГС) определяется применением крутонаклонных съездов с уклонами выше, чем могут преодолевать пневмоколесные полноприводные самосвалы, – 25 – 30% и более. Как правило, при доработке карьера ГС могут применяться в качестве сборочного звена с перегрузкой горной массы в карьерные автосамосвалы или иной магистральный транспорт, доставляющий руду на поверхность.

Тягово-динамические расчеты показали, что при уклонах съездов до 15 – 18% большую производительность имеют шарнирно-сочлененные самосвалы, при больших уклонах скорость ограничена не особенностями ходовой части, а мощностью двигателя из-за высоких тяговых усилий на крутонаклонных съездах. При уклонах более 25% применение шарнирно-сочлененных самосвалов затруднительно из-за большой вероятности буксования или сноса самосвала с дороги, поэтому в данных условиях наилучшие показатели обеспечат гусеничные самосвалы.

При проектировании применения полноприводных пневмоколесных и гусеничных самосвалов необходимо ориентироваться на обеспечение специальных мер безопасности [29].

С 2012 г. АК «АЛРОСА» на карьере «Удачный» осуществляет опытно-промышленное освоение такой технологии крутонаклонного вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением для транспортирования горной массы по автодорогам с уклоном до 25% полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов [30]. С 2014 г. самосвалы проходили опытную эксплуатацию в режиме дистанционного управления (ДУ) при работе в опасной зоне карьера. Опыт подтвердил реализуемость технологии [31 – 35], при этом требуют решения вопросы обеспечения ритмичности работы самосвалов, особенно в режиме ДУ, обеспечения расчетной производительности и безопасных схем работы на крутонаклонных съездах [36]. Перспективы данной технологии связаны также с применением для работы на крутонаклонных съездах с уклонами до 30 – 35% специальных гусеничных самосвалов.

Научными и проектными организациями рассматривались и другие варианты развития транспортных систем алмазорудных карьеров АК «АЛРОСА»:

- циклично-поточная технология (планировалось внедрение на карьере «Удачный», проводились опытно-промышленные испытания безвзрывной выемки руды с помощью роторного экскаватора на карьере «Удачный»);
- наклонные автомобильные подъемники (рассматривался вариант крутонаклонного подъема груженых автосамосвалов из рабочей зоны карьера на поверхность подъемником специальной конструкции, расположенным на борту карьера «Юбилейный»);
- троллейвозный и дизель-троллейвозный транспорт (проходил испытания опытный образец троллейно-аккумуляторного самосвала на базе МАЗ-525 на карьере «Мир», рассматривались варианты доставки руды от карьера «Зарница» на расстояние до 20 км) [37].

Комплексные исследования, выполненные ИГД УрО РАН и Институтом «Якутнипроалмаз» по выбору транспорта для магистральных перевозок руды, показали, что с учетом региональных, горнотехнических, сезонно-климатических, инфраструктурных особенностей области применения по видам транспорта применительно к алмазородным месторождениям в криолитозоне существенно корректируются. Это справедливо и для внутрикарьерного транспорта.

Поэтому с целью предварительного отбора вариантов транспорта для дальнейшего сравнения рекомендуется использовать данные таблицы 4.6, а далее по каждому из выбранных вариантов проводить детальные расчеты с вариативными параметрами.

Остановимся подробнее на некоторых видах транспорта, которые пока не нашли применение при разработке алмазородных месторождений криолитозоны, но могут быть применены.

Конвейерный транспорт в последние два десятилетия активно развивается в направлении крутонаклонных конвейерных подъемников [38], которые можно расположить по кратчайшему расстоянию по склону борта карьера перпендикулярно бровкам уступов. Опыт исследований показывает, что автомобильно-конвейерный транспорт выгоден при существенной высоте подъема конвейером и его производительности более 5 – 10 млн т в год. При выборе оборудования дробильно-конвейерного комплекса следует отдавать приоритет оборудованию блочно-модульного исполнения (передвижные и крупноблочные сборно-разборные дробильно-перегрузочные установки, крутонаклонные двухконтурные ленточные

конвейеры, механизированные склады и пр.), что позволит обеспечить технологическую гибкость применяемых систем циклично-поточной технологии в изменяющихся горнотехнических условиях. Сложности строительства крутонаклонных конвейеров в криолитозоне связаны с необходимостью организации устойчивых строительных конструкций на большом по высоте участке борта карьера в условиях сезонной заморозки-оттайки поверхностных контуров бортов, а также необходимостью консервации или заблаговременного погашения части борта карьера под строительство конвейера.

Применение скиповых подъемников целесообразно при разработке карьеров значительной глубины, но небольшой производственной мощности (до 5 – 8 млн т/год), в тех случаях, когда есть возможность расположить подъемник на нерабочем борту карьера на длительный период. Преимуществами комбинированного автомобильно-скипового транспорта являются: возможность подъема крупнокусковой горной массы без предварительного дробления; отдельного подъема одной скиповой установкой вскрышных пород и полезного ископаемого (при попеременной работе) и обслуживания нескольких рабочих горизонтов. Скиповые подъемники наиболее целесообразно применять с глубины 150 м и более. Их размещение особенно эффективно на глубине 250 – 350 м при близком расположении отвалов и обогатительных фабрик. Однако при высотах подъема скипом свыше 350 – 400 м установки становятся сверхгромоздкими, требуют канатов большого диаметра и по энергетическим затратам являются неконкурентоспособными с автомобильно-конвейерным транспортом. При этом производительность установок резко снижается. Близким аналогом скиповых подъемников являются наклонные автомобильные подъемники, позволяющие транспортировать автосамосвал вместе с грузом.

Перспективной для отработки относительно небольших месторождений может оказаться разработанная Институтом «Якутнипроалмаз» технология горных работ с бестраншейным вскрытием рабочих горизонтов кимберлитовых карьеров за счет применения специализированных подъемных устройств. Суть технологии – в том, что нижняя часть карьера вскрывается без отстройки транспортных съездов на бортах карьера [39]. Это позволяет сократить разнос бортов, который выполнялся бы при размещении

Таблица 4.6 – Области применения видов транспорта для внутрикарьерных перевозок на алмазорудных карьерах в криолитозоне

Вид транспорта	Горнотехнические и производственные условия и факторы					Расчетный срок работ, лет (не менее)
	Высота подъема, м	Расстояние транспортирования, км (кроме того на поверхности)	Грузооборот годовой, млн т	Требуемая скорость углубки, м/год	Способ выемки горной массы	
Автомобильный	При производственной мощности карьера по руде до 5-10 млн т – до 600 – 700 м. При значительной производительности – до 200 – 300 м в качестве сборочного транспорта	до 12 (до 7)	до 50 – 60	До 20 – 60	любой	любой
Комбинированный автомобильно-конвейерный – с наклонным конвейером – с крутонаклонным конвейером	Автомобильным транспортом до 100 – 200	Не лимитируется, лучше меньше за счет повышения угла наклона конвейера	Более 5 – 10 до 20 – 30	До 20 – 25	валовый	10 – 15
Комбинированный автомобильно-скиповый	Скипом 150 – 450	Не лимитируется (лучше меньше)	5 – 10 (180÷1500 т/ч)	До 20 – 25	любой*	10 – 15
Комбинированный автомобильно-автомобильный со вскрытием нижней зоны крутонаклонными автомобильными съездами	Высота зоны крутонаклонного вскрытия до 200 – 300 м (до 500 – 700 м в особых случаях)	Магистральное звено – до 10, сборочное звено – до 5	До 5 – 10	До 40 – 60	любой	3 – 5 (в стадии крутонакл. вскрытия)
Комбинированный автомобильно-троллейвозный	Высота рабочей зоны автомобильного звена до 200–300 м (до 500 – 700 м в особых случаях)	Магистральное звено – до 20, сборочное – до 5	До 20 – 30	До 30 – 40	любой	7 – 10 (работы троллейвозного звена)
Бестраншее вскрытие (кабельные краны) – с поверхности для неглубоких карьеров – в глубинной зоне при комбинированном транспорте	Высота бестраншейной зоны до 300 м	Диаметр по верху бестраншейной зоны до 1 км	До 3 – 5 (на одну подъемную установку)	В зависимости от технологии выемки	любой*	5 – 7 (в стадии бестраншейного вскрытия)

* при специальной организации работы подъемника для селективной выемки

транспортных берм. Проведенные исследования показали, что оптимизация параметров транспортных съездов наиболее эффективна именно в глубинной части карьеров (нижняя треть), т.к. обеспечивает 2/3 всего потенциального объема сокращения вскрышных работ. Подъем горной массы из рабочей зоны на поверхность или до перегрузочного пункта внутри карьера может осуществляться специальными кабельными кранами. Башни кабельного крана располагаются на уступах противоположных бортов карьера над рабочей зоной, количество подъемных установок определяется расчетной производственной мощностью. Существуют конструкции кабельных кранов с пролетами до 1000 м и более. Действующие в настоящее время краны обеспечивают максимальную высоту подъема – до 270 м, а потенциально – и более. Грузоподъемность для распространенных конструкций – до 25 т, хотя и существуют специальные кабельные краны с грузоподъемностью до 150 т. Спуск и подъем техники на дно осуществляется кабельными кранами по специальному регламенту либо по узким доставочным бермам, которые могут оставаться на бортах карьера, при этом не влияя существенно на разнос бортов. Ведущими ограничениями применения технологии являются относительно невысокая производительность кабельных кранов, снижающаяся при наращивании глубины, а также устойчивость уступов, на которых размещаются мощные башни кранов, удерживающие многотонные натянутые канаты. Поэтому данная технология применима для алмазородных месторождений относительно небольшой мощности и глубины, для которых важна максимально глубокая их отработка без перехода на подземные работы и при этом с минимизацией затрат.

Уникальность горно-геологических, горнотехнических, климатических и географических условий алмазородных карьеров криолитозоны обусловила постоянное совершенствование существующих и поиск новых технологий их отработки, который ведет АК «АЛРОСА». Накопленный опыт подготовил переход к новым технологиям и параметрам горных работ, который, однако, сдерживается необходимостью актуализации ряда нормативно-технических документов по проектированию карьеров с учетом особенностей алмазородных карьеров криолитозоны. В связи с этим в рамках разработки проекта нового национального стандарта РФ «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию» Институтом «Якутнипроалмаз» и ИГД

УрО РАН разработаны требования к проектированию транспортных систем карьеров и выбору вида карьерного транспорта. Разработанные требования в основном относятся к двум направлениям:

– устранение несоответствия параметров условий применения различных видов транспорта современным достижениям в области обработки месторождений открытым способом;

– актуализация требования к параметрам транспортных коммуникаций и транспортных средств, с учетом современных машин и нормативно-технических документов.

Основные принципы, которые должны быть заложены в новых стандартах по проектированию карьерных транспортных систем:

а) все разрабатываемые проекты должны обеспечивать широкое применение новых высокоэффективных технологий. Для оптимального выбора параметров транспортной системы карьера необходимо применять методы автоматизированного проектирования, основанные на многовариантном технико-экономическом сравнении и компьютерном моделировании;

б) для глубоких карьеров (более 200 – 300 м), а также на других карьерах с целью энерго- и ресурсосбережения, снижения затрат на транспортирование следует применять комбинированный транспорт. С этой целью транспортные системы проектировать с учетом их развития до конечной глубины карьера, а каждый из отдельных видов транспорта использовать в условиях (зонах) его предпочтительного применения;

в) для работы в сложных и/или опасных условиях карьеров следует предусматривать возможность применения транспортных машин с дистанционным или роботизированным управлением (как локально, так и внедрение комплексов таких машин для реализации безлюдной технологии), а при технико-экономической целесообразности необходимо использовать эти системы с целью повышения производительности;

г) с целью максимально эффективного использования конструктивных параметров транспортных средств следует рассматривать возможность их заказа на заводах-изготовителях по индивидуальным техническим заданиям, максимально адаптированным к конкретному карьере;

д) при обоснованном учете рисков допускается закладывать в проект новые виды оборудования, которое перед фактическим внедрением на карьере должно быть апробировано на опытно-промышленном участке;

е) продольные уклоны карьерных автодорог следует принимать по Своду правил СП 37.13330.2012. При этом допускается следующее:

– на отдельных участках дорог для автомобилей с колесной формулой 4×2 допускается увеличение продольного уклона в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и типа покрытия при условии обеспечения необходимого коэффициента сцепления (проверяется расчетом и натурными испытаниями, в том числе замером коэффициента сцепления специальным оборудованием);

– для полноприводных автосамосвалов допускается увеличение продольного уклона до 24% в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя и типом покрытия автодороги, а в отдельных случаях при технико-экономическом обосновании и наличии положительных результатов испытаний допускается применять более крутые уклоны;

– для гусеничных самосвалов допускается применять уклоны 25% и более при наличии положительных результатов испытаний;

ж) в стесненных условиях алмазородных карьеров допускается не устраивать улавливающие заезды при условии обеспечения безопасности движения.

Выводы по главе 4

Обоснован методический подход к адаптации горнотранспортных систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений, базирующийся на следующих принципах:

– обоснование параметров транспортных систем карьеров (ТСК) должно базироваться на многовариантном подходе, основанном на имитационном компьютерном моделировании функционирования ТСК во взаимосвязи с ключевыми параметрами горно-технологической системы в целом (через трехмерное компьютерное моделирование и т.п.);

– методика технико-экономического сравнения является адаптивной и базируется на результатах экономико-математического моделирования, позволяющего рассматривать варианты не только традиционных, но и новых видов (инновационных конструкций) транспорта;

– выбор предпочтительного варианта адаптации осуществляется не по дискретным значениям, а на сплошных многомерных (многофакторных) моделях (в простейшем случае – трехмерных), что существенно повышает точность прогнозирования и обоснованность принимаемых решений;

– может осуществляться сквозная оптимизация процессов открытых горных работ (оптимизация только одного процесса не дает максимальной эффективности);

– применение гибкого подхода в адаптации схемы вскрытия, управления параметрами рабочей зоны и порядка ведения горных работ.

Важным элементом методов адаптации ТСК к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений является комплексный учет факторов и комбинирование методик и способов адаптации. Так, совместное использование усовершенствованной методики технико-экономического сравнения видов транспорта и инновационных решений в области геотехнологии позволило установить, что на карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения, циклично-поточную технологию с автомобильно-конвейерным транспортированием руды целесообразно вводить с самого начала ее добычи.

Усовершенствованная методика технико-экономических расчетов для циклично-поточной технологии позволила выполнить новый этап исследований эффективности применения комплексов ЦПТ (в сравнении с экскаваторно-автомобильным комплексом (ЭАК)). Учтены технологические особенности размещения дробильно-конвейерных комплексов, в том числе: размещение с разносом борта карьера и без разноса (инновационные схемы). Рассматриваемые варианты сравниваются по удельным капитальным и эксплуатационным затратам. Для этого действительные затраты на расчетный год за период оптимизации приведены к одному моменту времени и отнесены к значению удельных капитальных затрат, направленных на применение ЭАК с производительностью 5 млн т/год и с высотой подъема горной массы 180 м, условно соответствующим 100%. Установлено, что отношения затрат на применение комплекса ЦПТ без разноса борта к затратам на рудных ЭАК не превышает значения 0,88, а, следовательно, ЦПТ будет выгоднее в большом диапазоне горнотехнических условий.

Установлены основные тенденции в современном развитии транспортных систем алмазорудных карьеров криолитозоны:

– ориентация на автомобильный транспорт, как наиболее «гибкий» в технологическом плане, не требующий высоких капитальных затрат;

– применение крутонаклонных съездов на завершающей стадии отработки месторождений открытым способом для сокращения объемов вскрыши при больших глубинах;

– использование автопоездов при магистральных перевозках руды на дальние расстояния (20 – 200 км) с учетом относительно небольших объемов перевозок;

– возможность применения специальных технологий и видов транспорта для отработки относительно небольших месторождений с невысоким содержанием в руде с целью максимально возможного сокращения издержек.

Разработано методическое обеспечение к выбору вида карьерного транспорта для алмазородных карьеров в криолитозоне, обеспечивающее:

– стабильное функционирование карьеров и ГОКов в целом по мере углубки и неоднократной реконструкции карьеров (этапности отработки);

– минимизацию объемов вскрыши при отработке карьеров на большую глубину;

– снижение затрат на транспортирование горной массы;

– высокие темпы ведения горных работ.

Практическим результатом комплексной работы является разработка раздела «Выбор вида карьерного транспорта» для нового национального стандарта «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию», отвечающего современным достижениям науки и техники, а также учитывающего характерные особенности добычи в криолитозоне.

Список литературы по главе 4

1. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев; ИГДС СО РАН. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
2. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов / В. Л. Яковлев // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень. – Специальный выпуск. – № 30. – 2015. – С. 22 – 34.
3. Корнилков С. В. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 4 – 9.
4. Трубецкой К. Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К. Н. Трубецкой, С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 15 – 19.
5. Журавлёв А. Г. Влияние типоразмера автосамосвала на разнос бортов карьера / А. Г. Журавлев, А. Б. Буднев // Проблемы недропользования. – 2018. – № 2. – С. 20 – 29. - DOI: 10.26535/2313-1586.2018.02.020.
6. Горшков Э. В. Обоснование рациональных параметров технологического автотранспорта при повышенных уклонах карьерных автодорог: дис. ... канд. техн. наук / Э. В. Горшков ; ИГД МЧМ СССР. – Свердловск. 1984. – 178 с.
7. Буднев А. Б. Оценка погрешностей некоторых аналитических методов расчёта объёма карьера / А. Б. Буднев, А. Г. Журавлев // Проблемы недропользования. – 2017. – № 4. – С. 20 – 29. – DOI: 10.18454/2313-1586.2017.04.061.
8. Журавлев А. Г. Выбор рациональной грузоподъёмности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования / А. Г. Журавлев // Транспорт Урала. – 2014. – № 4. – С. 96 – 101.
9. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2. – С. 5 – 14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.005.
10. Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах / Р. Г. Салахийев, Ю. А. Бахтурин, А. В. Дедюхин, А. Г. Журавлев // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 82 – 85.
11. Бахтурин Ю. А. Параметрическая адаптация транспортных систем карьеров на основе универсальной интерактивной имитационной модели / Ю. А. Бахтурин // Проблемы недропользования. – 2018. – № 4. – С. 44 – 49. DOI:10.25635/2313-1586.2018.04.071.

12. Журавлев А. Г. Моделирование параметров транспортных систем карьеров / А. Г. Журавлев // Черная металлургия. – 2015. – № 12. – С. 22 – 26.
13. Дулин С. К. Разработка системы имитационного моделирования движения железнодорожного транспорта на основе интерактивно задаваемых правил организации движения / С. К. Дулин, А. С. Селецкий, В. И. Уманский // Российская ассоциация искусственного интеллекта. – Режим доступа: www.raai.org/conference/cai-08/files/cai-08_paper_283.doc.
14. Патент № 2645051 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых : № 2016129631 : заявл. 19.07.2016 : опубл. 15.02.2018 / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Кармаев Г. Д., Семёнкин А. В.; заявитель ИГД УрО РАН.
15. Патент № 2632612 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Карьер : № 2016112247 : заявл. 31.03.2016 : опубл. 06.10.2017 / Глебов А. В., Берсенёв В. А., Кармаев Г. Д., Семёнкин А. В. ; заявитель ИГД УрО РАН.
16. Патент № 2521191 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Автомобильный съезд в карьере : № 2013105908 : заявл. 12.02.2013 : опубл. 27.06.2014 / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Кармаев Г. Д., Бахтурин Ю. А.; заявитель ИГД УрО РАН.
17. Патент № 2353769 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Борт карьера: № 2007118629 : заявл. 18.05.2007 : опубл. 27.04.2009 / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Бахтурин Ю. А.; заявитель ИГД УрО РАН.
18. Патент № 2416026 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Борт карьера : № 2009137893: заявл. 13.10.2009: опубл. 10.04.2011 / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Глебов А. В., Бахтурин Ю. А.; заявитель ИГД УрО РАН.
19. Патент № 2534305 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). Способ вскрытия глубоких карьеров: № 2013133068: заявл. 16.07.2013 : опубл. 27.11.2014 / Берсенёв В. А., Кармаев Г. Д., Бахтурин Ю. А., Яковлев В. Л., Глебов А. В. ;заявитель ИГД УрО РАН.
20. Проблемы внедрения схем вскрытия глубоких горизонтов алмазородных карьеров трассами крутого уклона / А. С. Чаадаев, А. Н. Акишев, В. А. Бахтин, С. Л. Бабаскин // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 63 – 68.
21. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 240 с.
22. Васильев М. В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
23. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева // Екатеринбург: УрО РАН, 2018. – 360 с.

24. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений / П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев, В. А. Черепанов, М. В. Исаков, В. Р. Баланчук, А. Н. Акишев, С. Л. Бабаскин // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 5. – С. 25 – 31.
25. Опытнo-промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов SCANIA в Удачнинском ГОКе / И. В. Зырянов, В. А. Павлов, А. П. Кондратюк, А. В. Моряков, Р. К. Альмяшев // Горная Промышленность. – № 6 (118). – 2014. – С. 38.
26. Чаадаев А. С. Схема вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками / А. С. Чаадаев, А. Н. Акишев, С. Л. Бабаскин // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 75 – 80.
27. Акишев А. Н. Оптимизация параметров схем вскрытия горизонтов кимберлитовых карьеров / А. Н. Акишев, С. Л. Бабаскин, И. В. Зырянов // Горный журнал. – 2010. – №5. – С. 85 – 87.
28. Фурин В. О. Обоснование технологических параметров углубочного комплекса для доработки крутопадающих месторождений: дис. ... канд. техн. Наук: 25.00.22: защищена 24.12.09 / Виталий Олегович Фурин. – Екатеринбург: ИГД УРО РАН, 2009. – 160 с.
29. Яковлев В. Л. Новые специализированные виды транспорта для горных работ / В. Л. Яковлев, П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 375 с.
30. Техничo-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров / А. Н. Акишев, И. В. Зырянов, Б. Н. Заровняев, П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 39 – 43.
31. Autonomous vs manual haulage trucks - how mine simulation contributes to future haulage system developments [Электронный ресурс] / Juliana Parreira, John Meech. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/334307975/Document-4>. – (дата обращения 4.08.2018).
32. Surface Control System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rct.net.au/surface-control-system/>. (дата обращения 4.08.2018).
33. Работа при пустой кабине [Электронный ресурс] / Catmagazine. – 2010. – Выпуск 2. – С. 6–8. – Режим доступа: http://www.zepelin.ru/upload/iblock/4bd/Cat_Magazine_N2-2010.pdf. (дата обращения 4.08.2018).
34. Rio Tinto activated Komatsu's autonomous haulage system in Australia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.komatsu.com/CompanyInfo/press/2008122516111923820.html>. (дата обращения 4.08.2018).
35. Журавлев А. Г. Тенденции развития транспортных систем карьеров с использованием роботизированных машин / А.Г. Журавлев // Проблемы недропользования. - 2014. - № 3. - С. 164 – 175. - DOI: 10.18454/2313-1586.2014.03.164.

36. Обоснование производительности оборудования при дистанционном управлении для карьера «Удачный» / П. И. Тарасов, А. Г. Журавлев, В. А. Черепанов, А. Н. Акишев, Г. В. Шубин // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 35 – 39.
37. Новая технология и оборудование для безвзрывного формирования рабочей зоны глубоких карьеров / С. Я. Левенсон, М. А. Ланцевич, Л. И. Гендлина, А. Н. Акишев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 5. – С. 125 – 132.
38. Кармаев Г. Д. Опыт проектирования, эксплуатации и перспективы развития циклично-поточной технологии на рудных карьерах / Г. Д. Кармаев, А. В. Глебов, В. А. Берсенев // Горная техника. Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. – Спб.: ООО «Славутич». – 2013. – № 1 (11). – С. 66 – 70.
39. Патент 2571776 Российская Федерация, МПК7E21C41/26. Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел / Бабаскин С.Л., Акишев А.Н., Самоловов В.С.; заявитель и патентообладатель Акционерная компания «АЛРОСА» (публичное акционерное общество) (АК «АЛРОСА» (ПАО)) – № 2014139741/03; заявл. 30.09.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. – 9 с.

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

5.1. Выявление факторов, определяющих переходную динамику

Для эффективного решения задач взрывной подготовки массивов горных пород к выемке в различных горно-геологических условиях открытой разработки и комплексного освоения недр требуется выявление тенденций изменения факторов в динамике развития карьеров. Анализ изменения факторов выполнен для самых крупных железорудных карьеров России. Выборка данных за 30-летний период произведена из «Сборника технико-экономических показателей горных предприятий» [1]. Крупнейшими железорудными карьерами являются: в центральной части России – это Лебединский, Михайловский, Стойленский; на северо-западе – Костомукшский, Ковдорский, Оленегорский, Кировогорский; на Урале – Главный, Западный и Северный Качканарского ГОКа; в Сибири – Коршуновский, Рудногорский, Тейский, Южный. На их долю приходится более 90% всего объема добываемой железной руды открытым способом в России. Согласно исследованиям [2 – 3], современные крупные железорудные карьеры России могут быть отнесены к глубоким, а исследования по выявлению и систематизации факторов на примере железорудных карьеров могут быть распространены на другие карьеры, разрабатывающие глубокозалегающие месторождения.

Установлено, что глубина ведения горных работ на железорудных карьерах колеблется в диапазоне 300 – 550 м (рис. 5.1).

С увеличением глубины разработки карьеров наблюдается снижение процентного содержания полезного компонента в добываемой руде согласно линейной зависимости (рис. 5.2).

Содержание железа в добытой руде на глубоких железорудных карьерах России варьируется в диапазоне от 15,5 (Урал) до 39,4% (центральная Россия). Темп снижения содержания железа по крупным карьерам различный, изменяется в диапазоне от 0,014 до 0,45% в год.

Увеличение глубины карьеров сопровождается повышением доли скальных горных пород в общем объеме добываемой горной массы (рис. 5.3). На

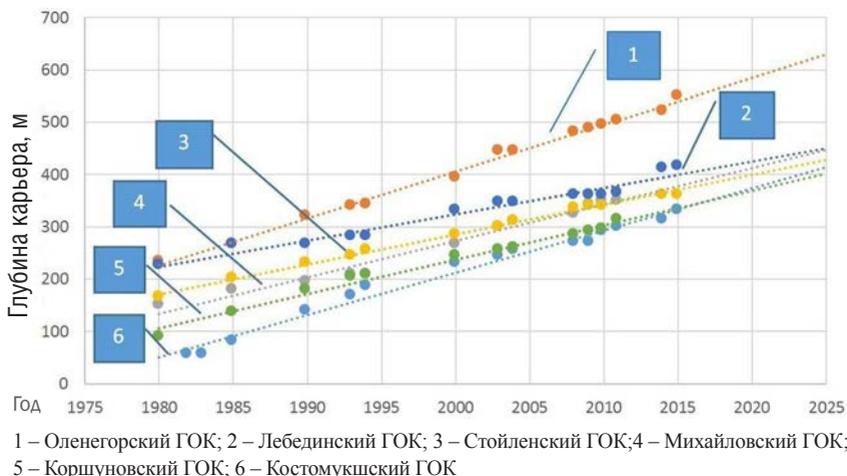


Рисунок 5.1 – Изменение глубины крупных железорудных карьеров в течение срока их эксплуатации

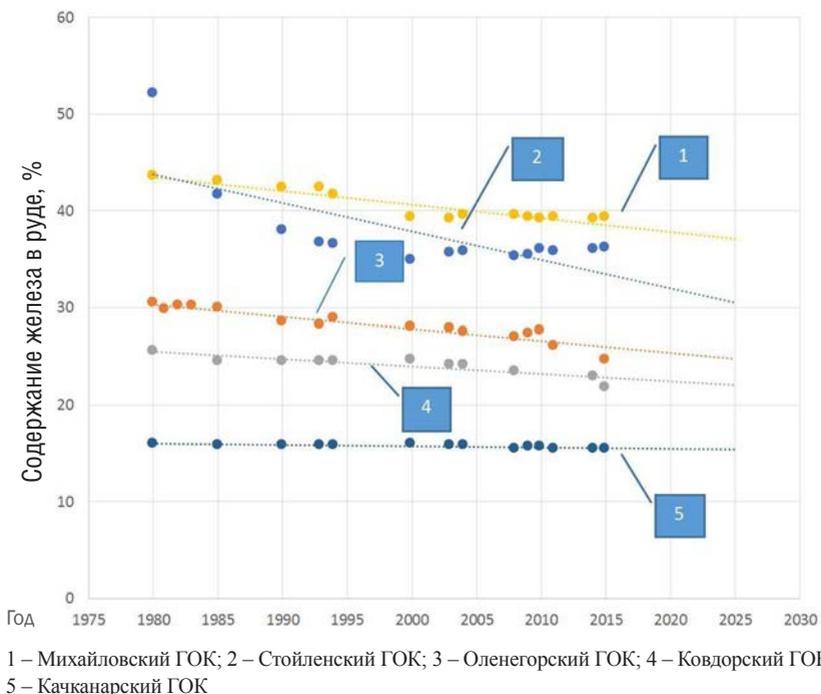
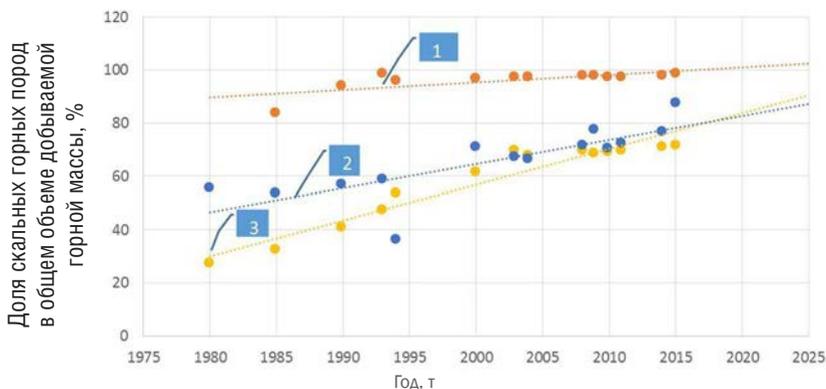


Рисунок 5.2 – Динамика снижения содержания железа в добываемой руде на глубоких карьерах в течение срока их эксплуатации

некоторых карьерах (Качканарский ГОК, Костомукшский ГОК, Ковдорский ГОК, Коршуновский ГОК) вся добываемая в настоящий момент горная масса является скальной. Увеличение доли скальных пород означает увеличение удельного веса разрабатываемых пород, обладающих повышенной прочностью и блочностью, что подтверждается исследованиями [4 – 5].



1 – Оленегорский ГОК; 2 – Лебединский ГОК; 3 – Михайловский ГОК

Рисунок 5.3 – Тенденции роста доли скальных пород в общем объеме добываемой горной массы на глубоких карьерах

Исследования, выполненные [6], показывают, что при углублении карьера в 2 раза (с 200 до 400 м) прочность горных пород в среднем возрастает на 10 – 20%, а их блочность (средний размер естественной отдельности) – на 10 – 30%.

В результате анализа динамики изменения удельного расхода (рис. 5.4) установлено, что путем плавного увеличения удельного расхода ВВ с 1988 – 2008 гг. показатель вырос в среднем к настоящему времени на 30%. Приблизительно с 1988 г. началось широкое применение взрывчатых веществ, изготавливаемых в местах применения, удельный расход которых выше, чем при штатных ВВ, на 10 – 20%. По каждому предприятию момент перехода был разный, также и увеличение удельного расхода ВВ было различно.

Рост блочности и крепости пород по мере углубления карьеров оказывает влияние на увеличение процента выхода негабарита, что также выражается в повышении удельного расхода ВВ.

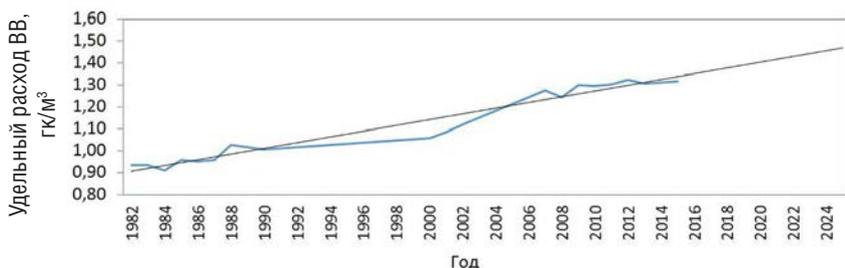


Рисунок 5.4 – Тенденция изменения средней величины удельного расхода ВВ по восьми крупнейшим железорудным ГОКом России

С увеличением глубины отработки месторождений на большинстве карьеров увеличивается обводненность пород и руд [7], нарушается устойчивость откосов. Во многих случаях спусковым механизмом обрушения уступов являются технологические взрывы, которые при подходе к предельному контуру вызывают рост дополнительных трещин в законтурном массиве [8].

Таким образом, современный этап развития открытых горных работ характеризуется значительными объемами выемки горной массы с больших глубин. Более 90% железной руды в стране в ближайшие годы будет добываться в крупных карьерах глубиной более 350 – 400 м. При этом доля крепких и крепчайших пород в вынимаемой горной массе превысит 75%, что потребует для их разрушения до необходимой крупности дробления совершенствования параметров буровзрывных работ.

Исследование изменяющихся условий на крупных глубоких карьерах позволило выполнить систематизацию основных факторов (рис. 5.5), которые следует учитывать при обосновании методов и этапов адаптации буровзрывных работ к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих месторождений. Факторы по источнику их возникновения подразделяются на внешние и внутренние. Основными внешними факторами являются цена на полезное ископаемое, научно-технический прогресс, социально-экономические условия, характер спроса на продукцию. Внутренними факторами являются постоянно изменяющиеся горно-геологические и горнотехнические условия разработки глубокозалегающих месторождений: глубина карьера, пространственные размеры рабочих

площадок, устойчивость законтурного массива, физические свойства и структура массива горных пород, гидрогеологические условия.

ФАКТОРЫ	Внешние	Цена на полезное ископаемое		
		Научно-технический прогресс		
		Социально-экономические условия		
		Характер спроса на продукцию		
	Внутренние	Горно-геологические	Прочность горных пород	Блочность массива
			Обводненность	Содержание полезного компонента
		Горнотехнические	Устойчивость откосов	Технология ведения работ
			Интенсивность процессов	Параметры рабочей зоны
		Организационные	Скорость обмена информационными потоками между службами	
			Своевременность технического обслуживания и ремонтов, качество заменяемых деталей	

Рисунок 5.5 – Факторы, учитываемые при адаптации параметров технологии буровзрывных работ к изменяющимся условиям глубоких карьеров

Основными параметрами буровзрывных работ, которые требуют адаптации к изменяющимся условиям глубокозалегающих месторождений, являются тип бурового инструмента, режим бурения, диаметр взрывных скважин, сетка расположения скважин на выемочном блоке, удельный расход, линия наименьшего сопротивления.

5.2. Систематизация переходных процессов буровзрывных работ

Для повышения эффективности процессов горных работ, в том числе буровзрывных работ, следует иметь в виду, что их протекание представляет собой переходный процесс, характеризующийся, прежде всего, сменой состояния горной массы. Сами переходные процессы по своей сути могут развиваться по следующим сценариям:

- внедрение инновационных технологий, развитие или совершенствование технико-технологических параметров производственных процессов;
- модернизация действующих технологий с целью компенсации нега-

тивного воздействия внешней среды (природной, экономической, социальной и пр.);

– адаптация технологических процессов к условиям сокращения объемов производства при затухании горных работ или устойчивом снижении спроса на продукцию предприятия.

При отработке массива горная масса меняет свое состояние по степени готовности к выемке: вскрытая, подготовленная, готовая к выемке. В свою очередь, готовая к выемке горная масса меняет свое состояние: в целике – обуренная – взорванная – экскавируемая – перемещаемая – перерабатываемая (складируемая). Это означает, что процессы бурения и взрывания фактически реализуют ряд переходных процессов перевода локальных массивов горной массы из состояния «в целике» в состояние «в развале».

При длительной эксплуатации месторождения развитие рабочей зоны с понижением горных работ вызывает значительный рост затрат на БВР, в том числе из-за изменения физико-механических свойств массива. Компенсация негативного влияния глубины разработки и повышения крепости пород начинает решаться в тот момент, когда становится ясно, что без осуществления перехода на новые, измененные параметры процесса дальнейшее использование типовых приемов затратно и неэффективно. В этой связи периодическое изменение параметров буровых и взрывных работ повышает эффективность всех последующих процессов на разных стадиях разработки месторождения с учетом уточнения характеристик пород.

В свою очередь, декомпозиция производственных операций по разрушению массива в части состава работ и используемых при этом механизмов и материалов свидетельствует о том, что между ними существует системная взаимоувязка по параметрам и времени протекания. В табл. 5.1 приведена систематизация основных переходных процессов, сопровождающих разрушение горной массы, по длительности их протекания и определены основные перспективные направления исследований, позволяющие повысить эффективность технологии взрывного разрушения.

Предлагаемая систематизация, прежде всего, ориентирована на описание элементов, входящих в технологический цикл БВР, физическую сущность переходных процессов, протекающих в этих элементах, и факторах, влияющих на свойства этих элементов.

Исследование этой совокупности позволяет определить особенности взаимодействия элементов в производственных операциях, оценить эффективность переходного процесса и сроки, в которые необходимо заблаговременно изыскивать ресурсы для компенсации негативных явлений.

При увеличении интенсивности горных работ требования к управлению процессами должны удовлетворять повышению скорости обмена информацией между службами предприятия.

Таблица 5.1 – Систематизация переходных процессов, возникающих при ведении буровзрывных работ, по длительности их протекания

Длительность протекания процесса	Наименование процесса, объекта	Физическая сущность процесса	Длительность переходного периода	Влияющие факторы	Основные направления исследований
Милли-секунды – микро-секунды	Горение первичных и вторичных ВВ, прохождение ударной волны в ДШ, СИНВ, КД, РП	Химические превращения, взрывное горение, детонация, радио-, электронные и электрические сигналы	Перемещение горения на 1 м за 0,00033 – 0,000125 с	Критический диаметр. Скорость детонации, длина заряда. Скорость распространения радио- и электронной волны	Энергетические характеристики для различных составов смесевых ВВ, стабильность и повышение скорости детонации, метательная способность
	Короткозамедленное взрывание, распространение УВВ, сейсмической волны, разлета осколков, разрушение (разупрочнение) массива	Распространение поражающих факторов во внешней среде и в массиве. Развитие трещин и заколов. Перемещающие и сдвиговые явления.	Зависит от времени полного расширения газов и движения газов по трещинам. От 0,00008 с до 0,008 с при $C_p = 5000$ м/с.	Крепость, трещиноватость, обводненность, кусковатость и требуемые параметры развала. Температура массива и окружающей среды.	Физико-механические свойства горных пород, механизм разрушения и структурное ослабление массива, схемы взрывания, управление параметрами развала и размерами опасных зон.

продолжение таблицы на следующей странице

Дни – часы – минуты	Проектирование взрыва, технологическая подготовка. Забойка, зарядание, коммутация. Распространение продуктов взрыва.	Взаимодействие технологических операций. Управление безопасностью и экономичностью взрывной подготовки.	Определяется планом горных работ, время подготовки взрыва от 3 дней до 12 часов.	Производительность механизмов, безопасность выполнения работ, Воздействие на защищаемые объекты и окружающую среду.	Удельный расход ВВ, параметры бурового оборудования, производительность техники, взаимодействие процессов и организация работ.
Месяцы – сутки	Поддержание переходящих резервов взорванной массы, подготовленных и готовых к выемке запасов.	Смена состояния массива (в целике, взорванный). Движение запасов и резервов ВМ.	Составляет примерно 10 – 20% времени выемочных работ.	Горно-геологические и горнотехнические условия. Конструкция рабочего пространства. Технология производственных процессов.	Параметры БВР при интенсивной отработке. Производительность техники, взаимосвязь технологических процессов. График и организация работ.
Годы – месяцы	Специальные работы (заоткоска, уничтожение негабарита, порогов).	Локальное разрушение для предотвращения аварийных ситуаций в соответствии с принятой схемой механизации.	Составляет до 20% времени подготовительных работ.	Горно-геологические, горнотехнические условия, требования к селективности, технологические решения, паспорта горных работ.	НРС, сейсмостойчивость горного массива, снижение динамической нагрузки при взрыве на законтурный массив. Защита объектов поверхности.
Годы	Создание новых ВВ и СИ, совершенствование техники и технологии БВР, модернизация и разработка нового оборудования и инструмента.	Изменение технологической схемы, повышение уровня безопасности, инновации.	Определяется временем ОКР, ОТР, ОПИ. Переходное время составляет от 1,5 до 10 – 12 лет.	Государственное законодательство, нормы, правила, стандарты.	Способы повышения уровня безопасности на опасных производственных объектах, способы индивидуальной защиты персонала.

Поэтому диспетчеризацию горных работ и обеспечение работы горных машин необходимо поддерживать на должном уровне с учетом интенсивной работы. При этом эффективное управление подразумевает постоянное уточнение свойств разрабатываемого горного массива и применение этих данных при планировании горных работ. В части буровзрывных работ при увеличении интенсивности горного производства можно выделить следующие технологические цели переходных процессов (табл. 5.2).

Таблица 5.1 – Систематизация переходных процессов, возникающих при ведении буровзрывных работ, по длительности их протекания

Технологическая цель	Характеристика процесса	Результаты поэтапной реализации предложенных мероприятий
Уточнение свойств горного массива	<p>Геометризация породного массива по классификационным признакам, формирование базы данных для планирования горных работ.</p> <p>Уточнение данных о массиве, совершенствование расчётного аппарата для определения параметров БВР.</p> <p>Экспресс-оценка свойств горных пород по данным обуривания выемочных блоков. Модель массива и расчет зарядов ВВ по скважинам.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уточнение типовых проектов БВР. 2. Повышение скорости обмена информацией при проектировании технологических взрывов. 3. Моделирование свойств пород в выемочном блоке и уточнение параметров зарядов ВВ. 4. Корректировочные расчеты и обоснование конструкции и порядка инициирования зарядов ВВ. 5. Прогноз кусковатости и распределения качества руды в развале. 6. Снижение затрат на материальные ресурсы при производстве БВР за счёт повышения эффективности взрывного разрушения.
Селективная выемка и повышение мобильности техники	<p>Уточнение типового проекта с выделением природных типов пород и руд.</p> <p>Обоснование параметров локальных массивов и организации работ при интенсивной отработке блоков.</p> <p>Оптимизация грузопотоков для обеспечения заданного качества сырья.</p> <p>Мероприятия для повышения производительности и скорости перемещения горных и транспортных машин.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Применение буровых станков, бурового инструмента и долот различного диаметра, соответствующих типу обрабатываемых пород и руд. 2. Применение станков с разным способом бурения, мобильных станков с дизельным приводом, электрических станков, соответствующим реальным горно-геологическим условиям. 3. Повышение мобильности буровой техники за счет организации системы подключений к источникам питания либо комбинированной схемы перемещения с использованием мобильных дизель-генераторов. 4. Обеспечение минимального развала горной массы с требуемой кусковатостью.

Технологическая подготовка производства, перспективное планирование процессов БВР	<p>Планирование поэтапного изменения параметров БВР в соответствии с прогнозом изменения прочностных свойств пород. Зонирование специальных технологических решений по влиянию негативного воздействия взрыва.</p> <p>Комплексный прогноз совершенствования параметров горного производства.</p> <p>Компенсационные меры по повышению или поддержанию эффективности БВР.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Своевременное внедрение взрывчатых веществ, изготавливаемых в местах применения для снижения издержек при достаточной большой глубине карьера. 2. Разработка мероприятий по снижению негативного воздействия взрыва на устойчивое состояние массива в приконтурной зоне карьера. 3. Корректировка параметров БВР с учётом ограниченного пространства на нижних горизонтах карьера. Контроль параметров развала горной массы.
---	--	---

Эффективная и безопасная реализация представленных в табл. 5.2 переходных процессов обеспечивается соответствующими типами буровой техники, видами взрывчатых веществ (ВВ) и средств взрывания (СВ), параметрами оборудования для механизированного заряжания скважин, корректировками составов ВВ. Особое значение при реализации переходных процессов является совершенствование расчетного аппарата для определения важнейших параметров буровзрывных работ.

5.3. Совершенствование методик расчета параметров буровзрывных работ с учетом прочностных свойств горных пород

В целях определения основных требований к буровой технике и инструменту, позволяющих вести буровые работы при интенсивной разработке в переходных процессах, выполнен сравнительный анализ технических характеристик современных буровых станков шарошечного типа отечественного и зарубежного производства (табл. 5.3) [9 – 13].

Анализ данных таблицы позволяет определить основные требования к техническим характеристикам, которыми должен обладать перспективный отечественный буровой станок [14]:

1) ресурсосбережение при бурении скважин – достигается путем авторегуляции технологических параметров бурения с учетом получаемой в процессе бурения информации о физическом состоянии массива горных пород;

Таблица 5.3 – Основные технические характеристики шарошечных буровых станков отечественного и зарубежного производства

Параметр	Модель				
	D75KS «Sandvik»	DML «AtlasCopco»	P&H 320XPC P&H	СБШ- 250МНА-32 ОАО «Руд- гормаш»	СБШ-270ИЗ ОАО «Ижорские заводы»
Способ бурения	шарошеч- ный/ ударно-вращательный	шарошеч- ный/ ударно-вращательный	шарошечный	шарошечный	шарошечный
Диаметр скважины, мм	229 – 279	152 – 270	270 – 444	244,5; 269,9	250; 270
Длина штанги, м	10,7	10,7	19,8	8	11
Глубина бурения, м	53	62,5	59,4	32	32
Усилие подачи, кН	409	267	680	300	450
Скорость подъема бурового снаряда, м/мин	0 – 27	0 – 55,2	0 – 24,4	15	16
Скорость вращения, об./мин./момент вращения, кНм	0 – 94/14,24	0 – 100/12,2	0 – 119/33,9	0 – 120/10	0 – 120/13
Производительность компрессора, м ³ /мин	45,3	54	109	32	38
Дизельный привод	есть	есть	нет	нет	нет
Электропривод	нет	нет	есть	есть	есть
Направление бурения к вертикали, градус	0 – 25	0 – 30	0 – 30	0; 15; 30	0; 15; 30
Масса станка, т	64,9	50	165,6	80	136

2) безопасность и высокая надежность – обеспечивается за счет приборного контроля работоспособности основных деталей и узлов станка, модульного (каркасно-платформенного) принципа построения станка, гидрофикации основных приводов;

3) экологичность – может быть обеспечена за счет оснащения системой мокрого пылеподавления. В модификации с дизельным приводом для подогрева емкости для воды должны использоваться выхлопные газы дизеля, комплектация станка системой сухого пылеулавливания;

4) мобильность – достигается за счет сокращения габаритов и массы станка, применения комбинированной схемы передвижения станка;

5) эргономичность – обеспечивается оснащением виброзащищенным рабочим местом оператора, кондиционерами, системами вентиляции, обогрева, вибро-, шумо- и пылезащиты, а также установкой стеклоочистителей и стеклоомывателей по направлению передвижения окон;

6) полная автоматизация процесса бурения и обеспечения вспомогательных операций сборки-разборки бурового става, горизонтирования и перемещения к новому месту бурения и пр.

Специфическими требованиями, обеспечивающими высокую интенсивность использования буровой техники, получение требуемой степени дробления горной массы и заданной геометрии развала в зависимости от назначения инновационной геотехнологии являются: бурение скважин круговым веером (в том числе горизонтально); осуществление как шарошечного, так и ударно-вращательного бурения; наличие удлиненной мачты для бурения сдвоенных или строенных уступов, возможность проходки скважины одной штангой с оснащением станка компрессором высокой производительности; обеспечение дизельного или электрического привода (по требованию); оснащение системой позиционирования станка в пространстве карьера; достаточно широкий диапазон варьирования диаметра и типа долота.

Важным при определении параметров технологических взрывов является установление удельного расхода ВВ. Фактическая величина удельного расхода ВВ определяется свойствами горных пород, свойствами ВВ и условиями разработки месторождения.

В табл. 5.4 приведен анализ наиболее распространенных методик расчета удельного расхода ВВ, учитывающих достаточно большое количество природных и технологических факторов. В таблице: единицей

отмечено наличие в расчетной формуле некоторого показателя, а нулем – отсутствие. В последнем столбце указаны результаты расчёта по приведённым методикам для кимберлитов – средневзрывааемых горных пород, при взрывном разрушении которых фактический удельный расход грамма монита 79/21 составляет 0,45 – 0,65 кг/м³.

При установленной нормированной 10% степени важности факторов видно, что удельный расход ВВ в наибольшей степени зависит от крепости пород, категории их трещиноватости и необходимой степени дробления. Из оценки 5% доли нормированных факторов следует, что при определении удельного расхода ВВ для конкретных условий более полно начинают учитываться свойства горных пород, свойства ВВ и технологические параметры. Таким образом, по мере отработки месторождения необходимо уточнять физико-механические свойства горных пород, определять и обеспечивать рациональные характеристики ВВ, анализировать условия взрывания и совершенствовать технологические факторы. В ИГД УрО РАН разработана методика уточнения величины удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте уступа, чтобы определять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока, а также строить модели в плане для определения предполагаемых зон разрушения от взрывов каждого скважинного заряда и выбора наилучшего для них направления инициирования для повышения дробящего эффекта.

В совокупности предлагаемые изменения в конструкцию отечественных буровых станков, а также методика экспресс-анализа физико-механических свойств пород и расчета удельного расхода ВВ на основании измеренной энергоёмкости процесса бурения, а также координатно зафиксированного положения бурового инструмента в скважине являются основанием для сокращения времени одного из важнейших организационно-технических переходных процессов – технологической подготовки блока к взрыву.

Это обеспечивается цифровизацией модели разрушаемого массива, уменьшением времени на корректировочный расчет ВВ в блоке, а также сокращением времени на приемку блока. При этом актуально располагать не только точным и надежным расчетным аппаратом для определения удельного расхода ВВ, но также оперативно определять необходимые параметры смесительно-зарядных машин для конкретных условий эксплуатации.

Наиболее подходящим методом оценки структурно-прочностных характеристик пород и руд месторождения, влияющих на эффективность буровзрывного комплекса по оперативности, является способ И.А. Тангаева [20]. Указанный способ предполагает измерение энергоемкости бурения взрывных скважин в процессе их получения и включает измерение мощности двигателя вращателя, потребляемой при бурении различных по свойствам и структуре пород. Для усовершенствования способа нами разработано переносное устройство, состоящее из контроллера и системы датчиков, предназначенных для регистрации и записи сигналов, поступающих с основных приводов станка в процессе бурения – двигателя вращателя, напорного механизма подачи бурового става и двигателя компрессора. Устройство (рис. 5.6) позволяет контролировать глубину и положение скважины, определять координаты скважины с высокой точностью. Записанные данные передаются по беспроводной связи на внешний сервер.



Рисунок 5.6 – Аппаратура для регистрации и беспроводной передачи данных [21]

Анализ полученных данных позволяет рассчитывать распределение прочностных свойств горных пород в объеме локального массива горных пород, по энергоемкости их разрушения, трудности бурения согласно классификации В.В. Ржевского (рис. 5.7).

В усовершенствованном методе оперативного получения информации о прочностных и технологических свойствах массива горных пород, включающем бурение взрывных скважин станком шарошечного типа, измерение данных, получаемых в процессе бурения, обработку данных, в отличие от ранней разработки [22], учитывается дополнительная информация об угле наклона и координатах скважины, состоянии электродвигателей бурового станка, степени износа бурового инструмента.

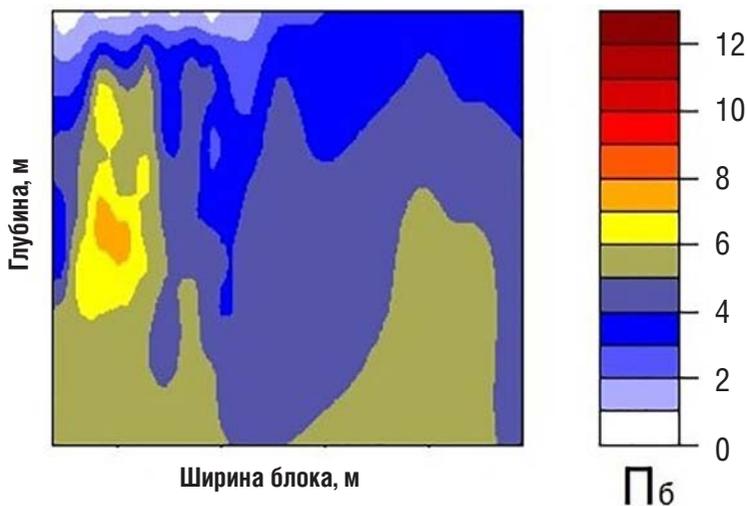


Рисунок 5.7 – Модель распределения пород по показателю трудности бурения P_6 [22]

Поступающая со станка по беспроводной связи на сервер технического отдела горнодобывающего предприятия информация о контролируемых параметрах бурения используется для разработки проекта буровзрывных работ на основе прогнозных значений об изменении прочностных свойств горных пород в планируемом к отработке блоке. При соответствующей обработке полученных данных можно также уточнять межремонтные сроки для бурового оборудования.

Важное значение при организации горных работ имеет взаимосвязь между взрывным разрушением массива и выемочными работами. Предварительные данные свидетельствуют о том, что увеличение интенсив-

ности выемочных работ ведёт к снижению удельных энергозатрат по процессам. Взаимосвязь энергетических характеристик выемочных работ и транспортирования горной массы с физической точки также должна определяться с учётом экскаваторного цикла и скорости подвигания забоя.

Изучение взаимосвязи скорости детонации и плотности осуществлено на примере нитронита Э-70. Из рис. 5.8 следует, что вне зависимости от диаметра заряда скорость детонации до определённого значения растёт до плотности заряжания около $1,4 \text{ г/см}^3$, а затем падает при приближении плотности к критическому значению. Наименьшие отмеченные значения скорости детонации достигаются при диаметре заряда 200 мм. Это указывает на то, что изменение диаметра заряда также необходимо учитывать при изучении скорости детонации ЭВВ.

Дополнительно проведенные исследования (табл. 5.5, рис. 5.9) свидетельствуют о том, что скорость детонации в зависимости от плотности ЭВВ подвержена колебаниям, однако характер этих колебаний на большинстве диаметров зарядов – одинаков. Следовательно, появляется возможность прогноза скорости детонации в процессе заряжания скважин конкретного диаметра, если измерять плотность изготовленной эмульсии.

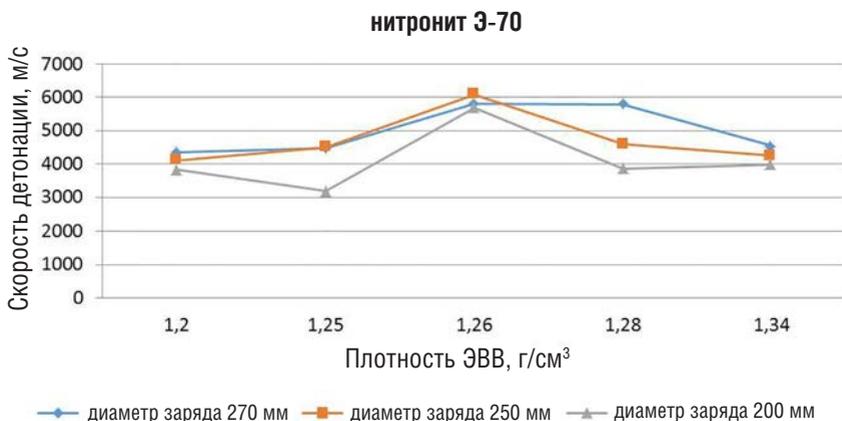


Рисунок 5.8 – Зависимость скорости детонации от плотности эмульсионного взрывчатого вещества нитронит Э-70 [23].

Таблица 5.5 – Скорость детонации эмульсионного ВВ нитронит Э-70 [23]

Плотность ВВ, г/см ³	Диаметр заряда, мм									
	90	120	130	140	150	160	180	200	250	270
1,100	3819	4164	4236	4308	4380	4452	4596	4740	5100	5151
1,110	3805	4067	4098	4128	4159	4258	4456	4654	5194	5260
1,150	2971	3392	3575	3726	3877	4028	4330	4868	5387	5358
1,180	2137	2717	3296	3327	3407	3639	3648	3871	4094	4838
1,183	2824	3492	3715	3938	4161	4384	4450	4516	4680	4766
1,190	3510	3900	4030	4160	4290	4420	4521	4622	4875	4599
1,200	2887	3142	3227	3312	3397	3482	3652	3822	4106	4360
1,225	2755	3208	3359	3510	3661	4130	4273	4416	4773	4423
1,250	3193	3497	3599	3700	3802	3903	4106	3192	4817	4486
1,260	3630	4188	4374	4560	4747	4933	5305	5677	6090	5797
1,270	3310	3512	3580	3647	3715	3782	3917	4052	4420	4677
1,277	3284	3425	3460	3496	3545	3575	3636	3697	3848	3594
1,280	3789	3907	3946	3985	4025	4064	4142	4221	4778	5677
1,330	3219	3584	3706	3827	4307	4357	4457	4557	4675	4848
1,340	2885	3229	3370	3469	3573	3714	3868	3974	4248	4542

Измеренные значения
интерполяция и экстраполяция

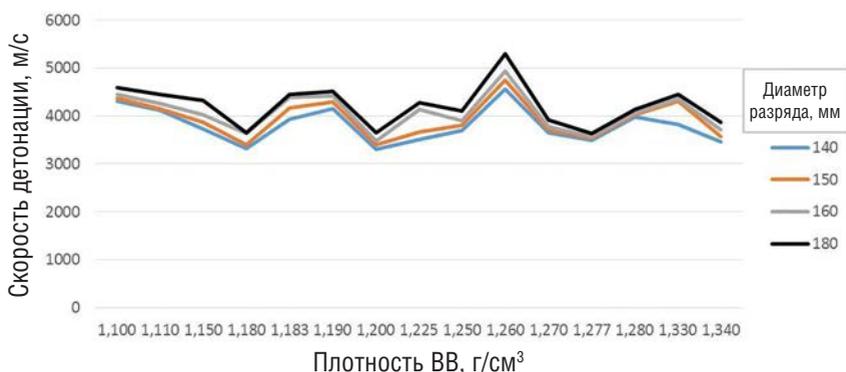


Рисунок 5.9 – Зависимость скорости детонации нитронита Э-70 от плотности ВВ при диаметрах заряда 140, 150, 160 и 180 мм [23]

Данные табл. 5.6 позволяют при зарядании скважины определенного диаметра и измерении при этом плотности ВВ прогнозировать скорость детонации каждого заряда в выемочном блоке. При этом, если иметь данные о свойствах пород в естественном залегании, то появляется возможность рассчитать радиус зоны разрушения и трещинообразования согласно [24], а также соответствующим образом скорректировать схему инициирования зарядов, что существенно отразится на качестве подготовки горной массы к выемке.

Таблица 5.6 – Изменение скорости детонации ЭВВ нитронит Э-70 в зависимости от его плотности и диаметра заряда [23]

Плотность ВВ, г/см ³	Диаметр заряда, мм	Скорость детонации, м/с
1,10÷1,11	200÷250	4850÷5150
1,10÷1,15	180÷200	4300÷4750
1,18÷1,19	250÷270	4700÷4800
1,20÷1,23	90÷120	3100÷3200
1,20÷1,25	180÷250	3200÷4000
1,23÷1,25	150÷160	3750÷3850
	250÷270	4300÷4800
1,27÷1,277	90÷120	3200÷3500
1,28÷1,33	140÷250	4000÷4600

Результаты исследования детонационных характеристик новых ЭВВ и рациональных параметров новой буровой техники показали, что сокращение удельного расхода ВВ при разрушении крепких пород достигается за счет некоторого увеличения расстояния между скважинами и проработки подошвы уступа горизонтальным врубом (рис. 5.10, 5.11).

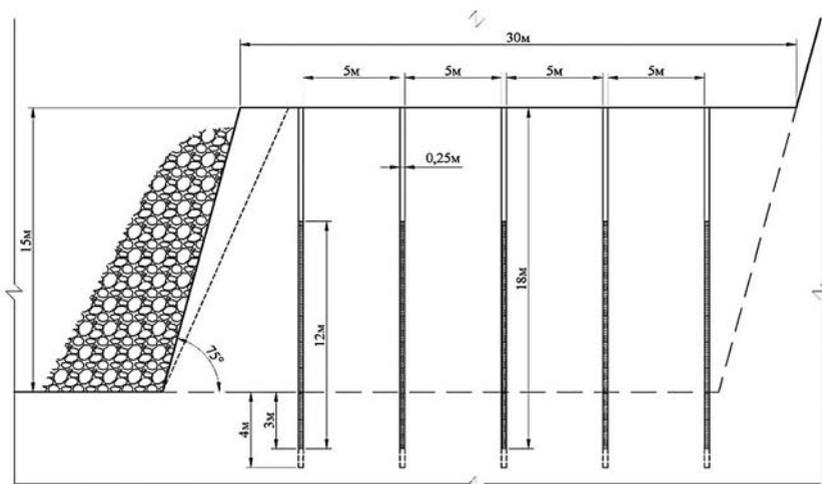


Рисунок 5.10 – Схема расположения зарядов при обычной технологии отбойки выемочного блока согласно исходным данным при взрывании с подпорной стенкой

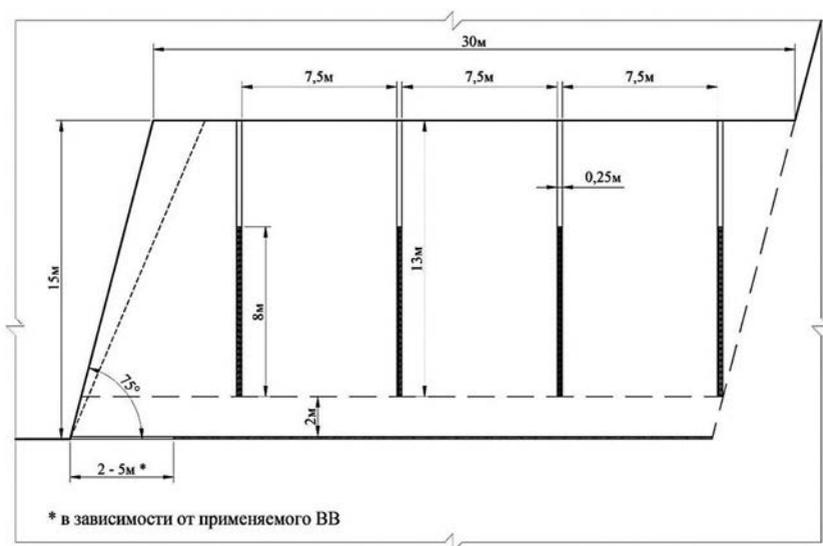


Рисунок 5.11 – Схема расположения зарядов при горизонтальном врубe по подошве уступа [25]

Это, как показали расчеты, позволяет уменьшить объем бурения в 1,2 раза и снизить потребление ВВ до 2 раз. Этот подход требует опытно-промышленной проверки применительно к интенсивной разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Выводы по главе 5

1. Современный этап развития открытых горных работ характеризуется значительными объемами выемки горной массы, извлекаемой с больших глубин (до 350 – 400 м). При этом доля крепких и крепчайших пород в вынимаемой горной массе превышает 75%, что требует совершенствования параметров буровзрывных работ. В этой связи периодическое изменение параметров буровых и взрывных работ повышает эффективность всех последующих процессов на разных стадиях разработки месторождения с учетом уточнения характеристик пород.

2. Процессы адаптации параметров БВР к меняющимся условиям разработки могут обуславливаться: внедрением инновационных технологий,

развитием или совершенствованием технико-технологических параметров буровзрывных работ в условиях устойчивого роста производства; модернизацией действующих технологий с целью компенсации негативного воздействия внешней среды (природной, экономической, социальной и пр.); изменением параметров в условиях сокращения объемов производства при затухании горных работ или устойчивом снижении спроса на продукцию предприятия.

3. Процессы бурения и взрывания реализуют ряд переходных процессов перевода локальных массивов горной массы из состояния «в целике» до состояния «в развале». При отработке горная масса меняет свое состояние по степени готовности к выемке: вскрытая, подготовленная, готовая к выемке. В свою очередь готовая к выемке горная масса меняет свое состояние: в целике – обуренная – взорванная – экскавируемая – перемещаемая – перерабатываемая (складируемая). Декомпозиция производственных операций по разрушению массива свидетельствует о том, что между ними существует системная взаимосвязка, поэтому предложенная систематизация ориентирована на описание элементов, входящих в технологический цикл БВР. Физическая сущность протекающих переходных процессов и факторов, влияющих на свойства этих элементов, сопровождающих разрушение горной массы, позволяет определить особенности взаимодействия элементов в производственных операциях, оценить эффективность переходного процесса и сроки, в которые необходимо заблаговременно изыскивать ресурсы для компенсации негативных явлений.

4. Эффективная и безопасная реализация изученных переходных процессов обеспечивается использованием буровой техники, взрывчатых веществ (ВВ) и средств взрывания (СВ), оборудования для механизированного заряжания скважин, в наибольшей степени соответствующих условиям их применения. В совокупности предлагаемые изменения в конструкции отечественных буровых станков, а также методика экспресс-анализа физико-механических свойств пород и расчета удельного расхода ВВ на основании измеренной энергоемкости процесса бурения и координатно зафиксированного положения бурового инструмента в скважине являются основанием для сокращения времени одного из важнейших организационно-технических переходных процессов – технологической подготовки

блока к взрыву. Это обеспечивается цифровизацией модели разрушаемого массива, уменьшением времени на корректировочный расчет ВВ в блоке, а также сокращением времени на приемку блока.

5. Изучение взаимосвязи скорости детонации и плотности ВВ в заряде (на примере нитронита Э-70) показало, что изменение диаметра заряда влияет на скорость детонации ЭВВ. Следовательно, появляется возможность прогноза скорости детонации в процессе заряжания скважин конкретного диаметра путем измерения плотности изготовленной эмульсии. При этом, при известных данных о свойствах пород в их естественном залегании, полученных в процессе бурения взрывных скважин, появляется дополнительная возможность расчета радиуса зон разрушения и трещинообразования для корректировки схемы инициирования зарядов, что существенно отразится на качестве подготовки горной массы к выемке.

Список литературы по главе 5

1. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990 – 2015 гг. / Институт горного дела УрО РАН. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2015. – 255 с.
2. Яковлев В. Л. О новых подходах к развитию теории и практики открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Горное дело: сборник статей / ИГД СО РАН. – Якутск – 1994. – С. 190 – 198.
3. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев ; отв. ред. В. С. Хохряков. – Новосибирск: Наука, 1989. – 240 с.
4. Прогноз физико-механических свойств горных пород на глубоких горизонтах железорудных карьеров: отчет о НИР (заключит.) / ИГД МЧМ СССР ; рук. В. Г. Зотеев ; № ГР 01830031716, Инв. № 0283. – 65996. – Свердловск – 1981. – 41 с.
5. Физико-механические свойства пород и руд, их обводненность на карьерах в настоящее время и прогноз до 2000 года: отчет о НИР / ВИОГЕМ, Раздел 1. – Белгород. – 1984. – 25 с.
6. Выстропов И. Л. Прогнозирование механических свойств скальных пород железорудных месторождений / И. Л. Выстропов // Горный журнал. – 1976. – № 5. – С. 45 – 48.
7. Состояние и перспективы развития взрывных работ на карьерах и подземном руднике ОАО «ССГПО»: материалы 2-й Международной науч. – практ. конференции, (г. Рудный, 18-20 мая 2004 г.) / О. С. Исайченко [и др.]. – Рудный. – 2004. – С. 101 – 103.
8. Жариков С. Н. Изучение сейсмического действия взрыва в карьере для внедрения специальной технологии заоткосных работ / С. Н. Жариков, В. А. Кутуев // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле земли, интерпретация геофизических полей: материалы конференции. – 2017. – С. 179 – 183.
9. Каталог бурового станка Сандвик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.miningandconstruction.sandvik.com>.
10. Каталог буровых станков Атлас Копко [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atlascopco.ru>.
11. Каталог бурового станка P&H [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.joyglobal.com>.
12. Каталог буровых станков ОАО «Рудгормаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rudgormash.ru>.
13. Каталог буровых станков ОАО «Ижорские заводы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omz-izhora.ru>.

14. Сухов Р. И. Обоснование требований к созданию перспективного бурового станка для бурения взрывных скважин на отечественных горнодобывающих предприятиях с открытым способом разработки / Р. И. Сухов, А. С. Реготунوف // Бюллетень научно-технической и экономической информации Черная металлургия. – 2017. – № 10. – С. 22 – 25.
15. Справочник взрывника / Б. Н. Кутузов, В. М. Скоробогатов, И. Е. Ерофеев [и др.] ; под общей ред. Б. Н. Кутузова. – М.: Недра. – 1988. – 511 с.
16. Ржевский В. В. Физико-технические параметры горных пород / В. В. Ржевский // М.: Наука. – 1975. – 212 с.
17. Тарасенко В. П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах: учебное пособие / В. П. Тарасенко. – М. : МГУ, 1985. – 84 с.
18. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. / Б. Н. Кутузов – М. : изд-во МГИ. – 1992. – 516 с.
19. Корнилов С. В. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах: учебное пособие / С. В. Корнилов, Ю. В. Стенин, А. Д. Стариков // Екатеринбург : изд-во УГГГА, 1997. – 112 с.
20. Тангаев И. А. Буримость и взрываемость горных пород / И. А.Тангаев // М.: Недра, 1978. – 184 с.
21. Сухов Р. И. Инструментальный контроль процесса бурения технологических скважин для уточнения состояния массива горных пород / Р. И. Сухов, А. С. Реготунов, Д. А. Гращенко // Горное дело: материалы VIII Уральского горнопромышленного форума (6–8 ноября 2019г.): тезисы докладов. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, Компания Экспоград. – 2019. – С. 54 – 55. – DOI 10.25635/IM.2019.1.1.
22. Regotunov A.S. Simulation and study of strength properties of rocks by measuring characteristics during the blast holes drilling / A.S. Regotunov, R.I. Sukhov // В сборнике: E3S Web of Conferences conference proceedings. – 2018. – С. 01002. – DOI: 10.1051/e3sconf/20185601002.
23. Жариков С. Н. Определение взаимосвязи между плотностью, скоростью детонации и диаметром заряда на примере эмульсионного взрывчатого вещества «нитронит» / С. Н. Жариков, П. В. Меньшиков, В. А. Синицын // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 6. – С. 35 – 39.
24. Жариков С. Н. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров/ С. Н. Жариков, В. Г. Шеменев // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 2. – С. 80 – 83.
25. Zharikov S. Influence of dynamics of development of open mining on technological features of blasting breaking / S. Zharikov, V. Kutuev // Problems of Complex Development of Georesources: VII International Scientific Conference (Khabarovsk, Russia, September 25-27, 2018). – 2018. – doi.org/10.1051/e3sconf/20185601004.

ГЛАВА 6. АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РУДОПОДГОТОВКИ В КАРЬЕРЕ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

6.1. Систематизация и анализ горно-геологических условий отработки запасов железных руд, основные тенденции управления качеством минерального сырья

Важным аспектом технологий комплексной глубокой переработки минерального сырья является применение всего спектра современных основных, вспомогательных и переходных процессов горнодобывающего производства.

Всестороннее изучение химического и минерального состава полезного ископаемого, содержания всех полезных и вредных примесей, структурно-текстурных признаков и физических свойств способствует более точной качественной и количественной оценке добываемого минерального сырья, выбору эффективных технологий и оптимальных режимов обогащения.

Установление закономерностей изменения содержания главных полезных компонентов в минеральном сырье является важным этапом при обосновании эффективных технологий управления качеством добываемого полезного ископаемого (ПИ) глубокозалегающих месторождений.

При разработке месторождений титаномагнетитов определяющим элементом управления качеством является определение зональности размещения в карьере типов руд по показателю обогатимости (в т.ч. содержанию железа в магнитной фракции, вкрапленности и др. показателям).

Для нерудных полезных ископаемых, относящихся к карбонатным породам, качественные характеристики их разработки во многом зависят от достоверной оценки засоренности посторонними включениями.

К горно-геологическим условиям отработки месторождений относится совокупность природных и техногенных факторов, определяющих выбор технологии (системы разработки, вскрытия и т.п.), а также применяемой техники для экономически эффективной и комплексной отработки запасов месторождения с минимальными потерями.

- К горно-геологическим условиям можно отнести (рис. 6.1):
- морфологию рудных тел;
 - качество полезного ископаемого (ПИ), изменчивость содержания ценных компонентов;
 - инженерно-геологические свойства пород;
 - обводненность и гидрогеологию месторождения;
 - запасы полезного ископаемого, утвержденные ГКЗ, перспективы прироста запасов.



Рисунок 6.1 – Систематизация горно-геологических условий, определяющих разработку месторождений полезных ископаемых

В табл. 6.1 представлена классификация методов управления качеством, применяемых на крупнейших железорудных предприятиях.

На рис. 6.2 – 6.3 систематизированы основные тенденции управления качеством минерального сырья согласно мировому опыту и перспективы отрасли на ближайшие 10 лет в данной области.

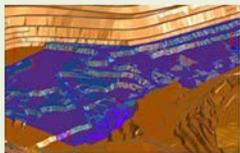
Таблица 6.1 – Фрагмент данных анализа технологий управления качеством на ведущих железорудных ГОКах

Предприятие, ГОК	Использование ГИС для планирования горных работ и моделирования месторождения	Наличие перегрузочных складов (буферных, усреднительных)	Данные о качестве запасов, опробование ПИ	АСУ рудопотоками и оборудованием	Предохранение	Контроль качества ПИ на ОФ
АО «Карельский Океан»	<p>Использование ГИС для планирования горных работ и моделирования месторождения</p> <p>Suprac:</p> <ul style="list-style-type: none"> – блочные модели месторождения; – годовое планирование; – месячное планирование; – недельное планирование (Suprac (модели в нарезке), AutoCad (данные каротажа), Modular (диспетчеризация, задания на добычу)) 	<p>Наличие перегрузочных складов (буферных, усреднительных)</p> <p>Действует система сменного планирования: планируется добыча и транспортирование руды по перегрузочным складам для равномерного усреднения по секторам перетр. склада.</p> <p>Склады внутрикарьерные автомобильно-железнодорожные с функцией перегрузки и задачами усреднения, формирования рудопотоков заданного качества.</p> <p>Планируется шихтование некондиционной руды к основной через систему буферных складов для увеличения объема производства окатышей.</p>	<p>Данные о качестве запасов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Детальная разведка; – Эксплуатационная разведка; – Магнитный каротаж буровых скважин; – Опробование бурового шлама в хим. лаборатории; – Рудоконтрольные станции для автотранспорта; – Фабричное опробование после каждой стадии дробления геофизическими способами. – Эксплуатационная разведка; – Магнитный каротаж буровых скважин; – Опробование бурового шлама в хим. лаборатории; – Рудоконтрольные станции для автотранспорта; – Фабричное опробование после каждой стадии дробления геофизическими способами. 	<p>АСУ рудопотоками и оборудованием</p> <p>Modular – оптимизация маршрутов самосвалов, их загрузки, GPS, управление грузопотоками, качество в ковше.</p> <p>Высокая скорость Wi-Fi для контроля оборудования, модуль системы Modular.</p>	<p>Предохранение</p> <p>Комплексы сухой магнитной сепарации на бортах Западного участка карьера Корпангского месторождения и Центрального участка Костомукшского карьера</p>	<p>Контроль качества ПИ на ОФ</p> <p>Гидротранспортирование концентрата на фабрику окомкования с усреднением концентрата в жидкой фазе и отделение фильтрования в корпусе окомкования</p>

<p>ОАО «ЕВРАЗ КТОК»</p>	<p>Suprac: – блочные модели месторождения по карьерам Северный, Главный, Западный; – годовое планирование; – месячное планирование; – недельно-суточное планирование.</p>	<p>Действует система сменного планирования: формирование 2-часовых рудных пакетов; Внутрикатьерные перегрузочные склады с автотранспорта на железнодорожный, формирование складов идет на основе суточных геологических нарядов по всем трем карьерам.</p>	<p>Данные о качестве запасов: – Детальная разведка; – Эксплуатационная разведка; – Магнитный каротаж буровых скважин; – Опробование буровых скважин в хим. лаборатории; – Фабричное химическое опробование – башня проб.</p>	<p>нет данных</p>	<p>нет</p>	<p>Формирование загрузки приемных бункеров фабрики с трех карьеров на основе системы 2-часовых рудничных пакетов.</p>
<p>ПАО «Коршунский ГОК»</p>	<p>Существует блочная модель месторождения, которой осуществляется годовое, месячное и недельно-суточное планирование.</p>	<p>Налажена система сменного управления на основе автомобильно-железнодорожных складов, выполняющую функцию усреднения.</p>	<p>Данные о качестве запасов: – Детальная разведка; – Эксплуатационная разведка; – Магнитный каротаж буровых скважин; – Опробование буровых скважин в хим. лаборатории; – Фабричное химическое опробование.</p>	<p>АСУ ГТК «КАРЬЕР» – оптимизация работы оборудования, GPS – GPRS-сеть, загрузка, топливо, помощь в планировании и управлении качеством.</p>	<p>нет</p>	<p>На фабрику поступает руда с Рудногогорского и Коршунского месторождения, где происходит усреднение рудопотоков.</p>

Использование ГИС для планирования горных работ и учета запасов:

- автоматизация обработки данных опробования;
- создание геологических карт, разрезов, каркасных и блочных моделей отражающих топографические, качественные, физико-химические и другие свойства горных пород;
- годовое, месячное и недельно-суточное планирование горных работ;
- оптимизация рудопотоков по количеству и качеству ПИ с учетом складов;
- выполнение маркшейдерских работ и др.



Автоматизированная система диспетчеризации с GPS-маяками, системой весовых, оптических, геофизических, рентгеновских датчиков для контроля качества, внутрикарьерной Wi-Fi-сетью для бесперебойной связи – все это позволяет оптимизировать работу оборудования, решать задачи сменного планирования в режиме управления качеством, снижать расход топлива, шин. Оптимизировать маршруты транспорта и его состав. Повышать прибыль и стабилизировать качественные показатели.



Устройство систем обогащения и рудоконтроля на борту карьера или отвала, вблизи фабрики, штольни, складов позволяет исключить затраты на перевозку пустой породы, снизить потери и засорение, увеличить выход концентрата. Для этого используются мобильные или стационарные рудосортировочные комплексы (на основе магнитной сепарации, оптической рентгенорадиометрической и т.д.)



Рисунок 6.2 – Основные тенденции развития методов управления качеством

Применение безлюдных технологий управления производством и качеством

1-й этап, удаленное управление оборудованием, вывод дополнительной информации с различных сенсоров на рабочие экраны операторов для более полного учета качественных показателей;

2-й этап, автоматизированная система управления на основе нейронных сетей (операторы управляют процессами добычи дистанционно, устанавливая плановые задания, оборудование при этом функционирует автономно, получая данные о горном массиве электромагнитных датчиков (РФА, геофиз и т.п.)

Совершенствование методик моделирования месторождений полезных ископаемых

– совершенствование методик и программных средств для моделирования месторождений полезных ископаемых и горных выработок;

– повышение достоверности полученных моделей;

– интеграция и автоматизация процесса пополнения данных в модели с передатчика регулярных данных поступающих с карьера;

– совершенствование алгоритма геостатистических и геологических представлений о горном массиве

Расширение методического и технического арсенала процессов рудоподготовки и обогащения

– технологическое совершенствование обогатительного оборудования (грохотов, дробилок, мельниц, сепараторов и т.п.);

– совершенствование методического обеспечения процессов обогащения и управления качеством (разделения минералов, извлечения полезных компонентов);

– применение инновационных реагентов и наноматериалов для процессов и оборудования;

– анализ воздействия электромагнитного спектра на состояние горных пород, создание портативных устройств для экспресс-анализов и совершенствование источников питания к ним

Рисунок 6.3 – Перспективные методы управления качеством рудопотоков

6.2. Адаптация горно-технологических систем при управлении качеством минерального сырья

Установлено, что управление качеством – динамический процесс: постоянно меняющиеся входные параметры потоков руды с её дисперсией, вскрыши и их соотношения обуславливают схему адаптации технологических процессов горного производства к изменяющимся горно-геологическим условиям, что отражено на рис. 6.4.



Рисунок 6.4 – Принципиальная схема процессов адаптации горно-технологических систем при управлении качеством минерального сырья на глубокозалегающих железорудных месторождениях

В результате анализа всех имеющихся классификаций руд Гусевогорского месторождения на технологические типы, учитывающих также вкрапленность и показатель обогатимости, введен критерий комплексного показателя обогатимости, построены изолинии, характеризующие содержание химических элементов для карьеров Качканарского ГОКа (рис. 6.5, 6.6, табл. 6.2).

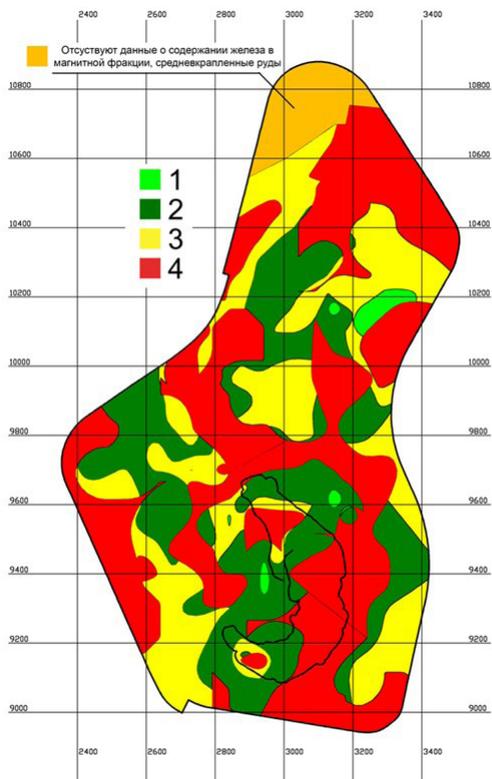


Рисунок 6.5 – Районирование титано-магнетитовых руд по комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности): гор. + 160 м, Северный карьер

- 1 ■ Легкообогатимые
- 2 ■ Нормальнообогатимые
- 3 ■ Среднеобогатимые
- 4 ■ Труднообогатимые
- Среднекрупленные

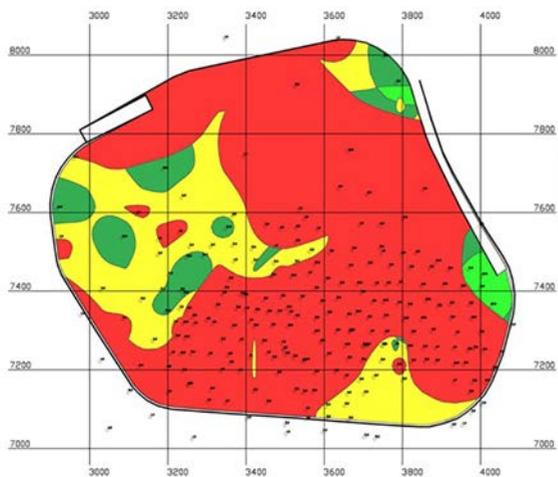


Рисунок 6.6 – Районирование титано-магнетитовых руд по комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности): гор. + 55 м, Главный карьер

Для совершенствования разработанных методик моделирования был разработан алгоритм, учитывающий расстояние между скважинами эксплуатационной разведки, и на его основе скорректирована объемно-цифровая модель Гусевогорского месторождения титаномагнетитовых руд.

Для уточнения связи качества концентрата с физико-механическими свойствами пород были выполнены исследования по уточнению плотности титаномагнетитовой руды в пределах Северного карьера с изучением кернов эксплуатационной разведки (табл. 6.3).

Таблица 6.2 – Показывает соотношения между различными типами руд по обогатимости на Северном карьере, гор. + 160 м и отражает классификационные критерии комплексного показателя обогатимости

Цвет	№	Наименование	Категория по вкрапленности	Содержание железа в маг. фракции, %	%	S	V
	1	Легкообогатимые	крупновкрапленные	>64,4	1,1	14589,2	218838,63
	2	Нормальнообогатимые	крупно- (или средневкрапленные)	62,61-64,4 (или >64,4)	26,4	356297,5	5344461,9
	3	Среднеобогатимые	средневкрапленные	62,61-64,4	25,7	346677,3	5200159,2
	4	Труднообогатимые	мелко-, тонко- и дисперсно-крупные	<62,6	42,3	572023,5	8580352,4
		Среднекрупные	Среднекрупные	Нет данных	4,6	61478	922170,35

В результате проведенных работы были:

- определены статистические характеристики обработки данных моделирования распределения объемного веса титаномагнетитовой руды Северной залежи ОАО «ЕВРАЗ КГОК» для соответствующего условного разреза;

- построена регрессионная модель зависимости объемного веса титаномагнетитовой руды Северной залежи ОАО «ЕВРАЗ КГОК» от содержания в ней железа общего ($Fe_{\text{общ}}$);

Таблица 6.3 – Результаты определения плотности проб титаномагнетитовой руды Северного карьера

№ п/п	Место расположения выработок	Тип и номер выработки	Глубина взятия пробы, м	№ пробы	Плотность, ρ , т/м ³	Петрографическая разность проб	Средняя плотность по пробе, ρ , т/м ³
1	x-9666,478; y-2435,484; z-191,0	c-4547	0,0 – 0,2	пр.4547-01	3,55 3,57	Prdl	3,56
2		c-4547	5,0 – 5,2	пр.4547-02	3,62 3,63	Prdl ol сод.	3,63
3		c-4547	10,0 – 10,2	пр.4547-03	3,59 3,63	Prdl	3,61
4		c-4547	15,0 – 15,2	пр.4547-04	3,54 3,55	Prdl	3,55
5		c-4547	20,0 – 20,2	пр.4547-05	3,54 3,60	Prdl	3,57
6		c-4547	25,0 – 25,2	пр.4547-06	3,55 3,57	Prdl	3,56
7		c-4547	30,0 – 30,2	пр.4547-07	3,57 3,63	Prdl	3,60
8		c-4547	1 35,0 – 35,2	пр.4547-08	3,48 3,50	Prdl	3,49
9		c-4547	40,0 – 40,2	пр.4547-09	3,53 3,57	Prdl	3,55
10		c-4547	45,0 – 45,2	пр.4547-10	3,53 3,57	Prdl+PL	3,55
11		c-4547	50,0 – 50,2	пр.4547-11	2,80 2,83	Prdl	2,82
12		c-4547	55,0 – 55,2	пр.4547-12	3,58	Prdl	3,59

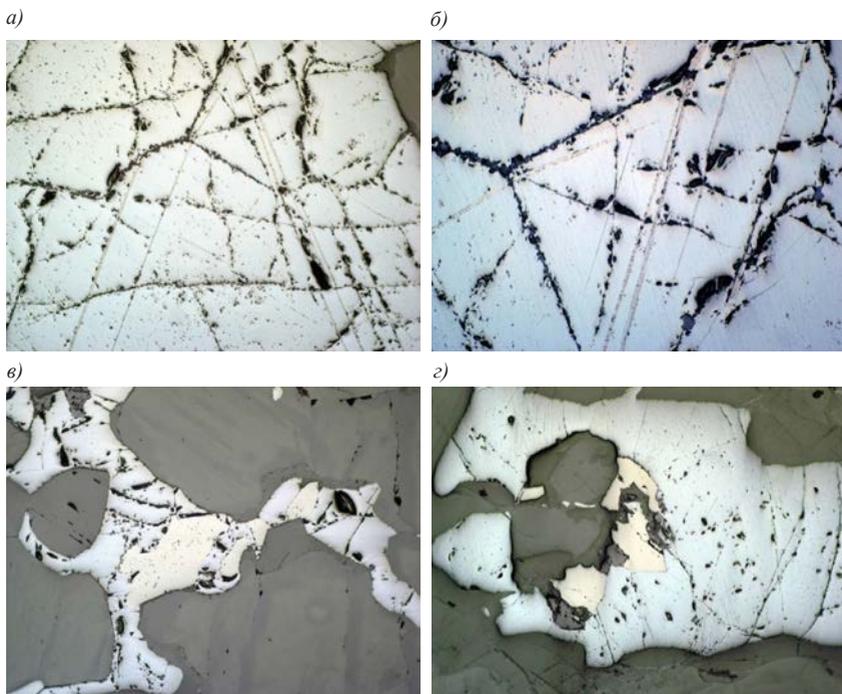
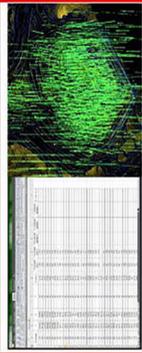


Рисунок 6.7 – Выделения ильменита различной морфологии: а, б – ламели ильменита в зернах магнетита; в, г – зерна ильменита неправильной формы в сростаниях с магнетитом. а, в, г – увеличение 100^х (1 мм по короткой стороне кадра), б – фрагмент изображения рис. а, увеличение 200^х (0,5 мм по короткой стороне кадра)

– установлены формы нахождения в составе титаномагнетитовой руды минерала ильменита ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) основного минерала, способствующего переходу титана в железорудный концентрат, это ламели (пластинчатые сростки) ильменита в магнетите или компактные зерна ильменита различной формы в сростании с магнетитом – продукт собирательной перекристаллизации ламелей в результате метаморфизма (рис. 6.7);

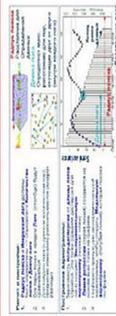
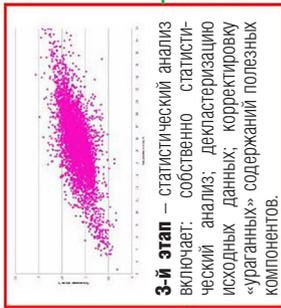
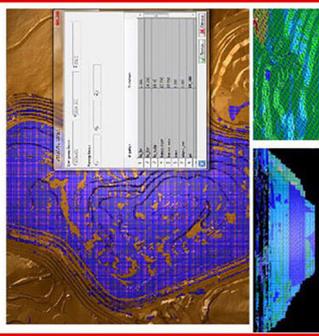
– методами компьютерного моделирования (рис. 6.8) установлена зональность распределения объемного веса и показателей железа общего в пределах участка эксплуатационной разведки Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» с последующим построением разрезов (рис. 6.9);



1-й этап — подготовка баз данных — сбор и подготовка исходных данных для решения вопросов управления качеством, такими данными являются колонки опробования скважин детальной и эксплуатационной разведки, геологические разрезы и планы. Последующая интерпретация данных в ГГИС — шаблонная форма, учитывающая структуру данных выбранной горно-геологической информационной системы. Содержится информация об изменении по каждой скважине различных свойств полезного ископаемого и пустой породы. Данные о инклинометрии, глубинах и устьях скважины, принадлежности разведочным профилям и стадиям разведки. Все это является основой для создания «геологической базы данных» по заданному месторождению или его участку.

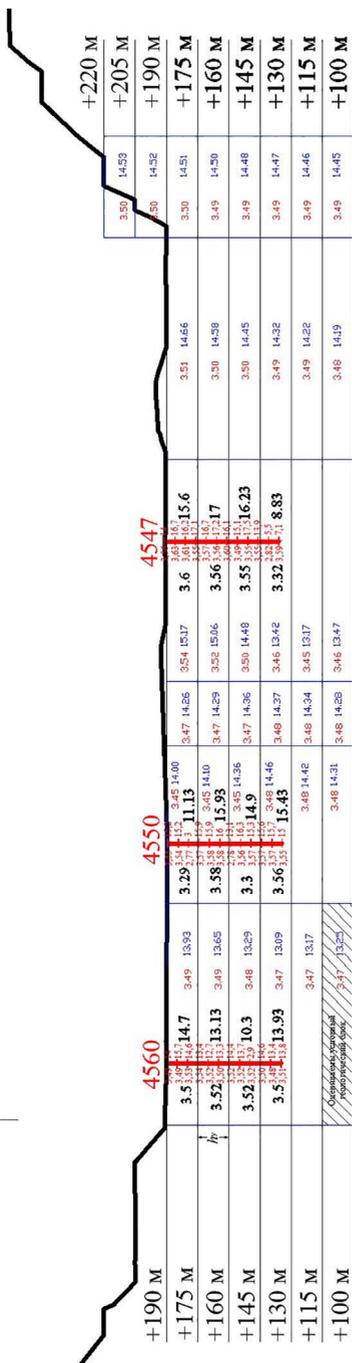


2-й этап — геометрическое моделирование геологических тел и структуры месторождения, выделение рудных (кондиционных) интервалов в разведочных выработках по вариантам кондиции; построение рудных контуров в вертикальных и/или горизонтальных разрезах (сечениях); подсчет запасов методами геологических блоков, разрезов различной ориентировки, многотельных и другими традиционными методами; создание каркасных моделей рудных тел (построение рудной оболочки месторождения, минерализованной зоны).

5-й этап — создание блочной модели месторождения включает: обоснование размеров блоков и их пространственного положения, создание пустой модели, уточнение каркаса на основе индикаторного кригинга, интерполяция и экстраполяция данных на основании принятого алгоритма, заполнение информационной подсчетных блоков.

Рисунок 6.8 – Используемая методика компьютерного моделирования



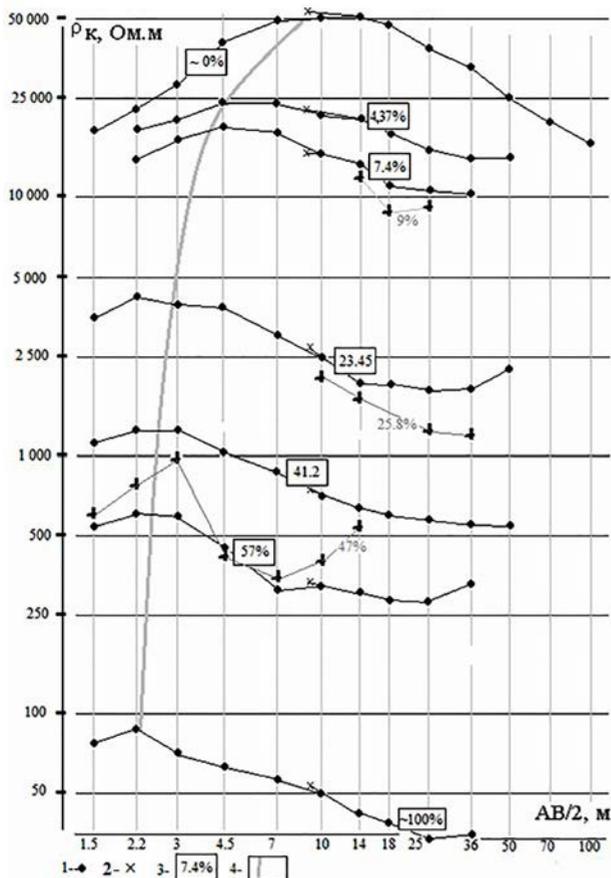
Условные обозначения:

4563 – определяющая разрез скважина; **4553** – второстепенная скважина, расположенная в зоне влияния (интерполяция) на значения объемного веса и железа обшего в модели; **3,50 15,8** – интервалы опробования по скважинам эксплуатационной разведки, слева от скважины показатель объемного веса, справа железа обшего; **3,5** – показатель объемного веса в блоке, полученный с помощью интерполирования; **14,7** – содержание железа обшего в блоке модели; **3,22** – слева от скважины, средний показатель объемного веса по горизонту (15 м); **11,36** – справа от скважины, средний показатель железа обшего по горизонту (15 м).

Рисунок 6.9 – Разведочная линия I, распределение объемного веса руды с привязкой к Геобл

6.3. Моделирование засоренности известняков и глинистого материала с применением блочного моделирования

Для засоряющего чистый известняк глинистого материала на карьере АО «Березниковский содовый завод» (АО «БСЗ») разработан металлومترический алгоритм производства электрометрических работ при геофизических исследованиях массива (рис. 6.10).



Ось абсцисс $AB/2$ – разность питающей линии (глубина измерения), м;
 Ось ординат ρ_k – кажущееся сопротивление (расчетный параметр, $\rho_k = k(DU_{MN}/I_{AB})$), Ом.м.
 Графики ВЭЗ (8 шт.) расположены сверху вниз по мере роста глинизации, соответствующие точкам зондирования на плане № 5, 1, 6, 2, 8, 4, 3 и 7.
 Условные обозначения на графиках зондирования:
 1 – точки сопротивления ρ_k , измеренные на блоках равномерной «засоренности»;
 2 – точки сопротивления ρ_k , измеренные на блоках, представляющих «кусочно-однородную» среду;
 3 – количество примесного глинистого материала в объеме измеряемого блока, %;
 4 – график связи «глинизации» изучаемого блока с глубиной границы, разделяющей разрыхленный слой ПИ от воздействия БВР и монолитный природный массив.

Рисунок 6.10 – Дифференциация данных ВЭЗ в зависимости от «засорения» (глинизации – закарстованности) известняка в объеме изучаемого блока

На примере изучения массива известняков в Чаньвинском карьере АО «Березниковский содовый завод» выполнено моделирование степени засоренности ПИ породными включениями. Блочное моделирование и определения значений объемов соответствующих геологических разновидностей (известняк, зоны ПВСГ + глина) производится в границах взрывного блока № 1659 гор. + 245 м (рис. 6.11). Построение балочной модели осуществлялось в специализированной геоинформационной системе GEOVIA Surpac. Исходными данными для моделирования послужили геологические колонки опробования взрывных скважин блока № 1659 (табл. 6.4), которые впоследствии в соответствии с заданными требованиями моделирования подготавливаются в необходимый для этого массив данных (табл. 6.5).

Таблица 6.4 – Фрагмент таблицы данных, полученных опробованием взрывных скважин блока № 1659 гор. + 245 м

№ п/п	Шифр скважины	Шифр керна	Координаты начала керна, м			Длина керна, м	Физико-химические параметры					Пачки
			X	Y	Z		CaCO ₃	MgCO ₃	CaMg	SiO ₂	R2O ₃	
1	1	1-1	6855.2	5575.4	252.10	7,0	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ПВГ
2	1	1-2	6855.2	5575.4	245.10	0,50	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗВ
3	2	2-1	6858.6	5575.0	251.90	4,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗТ
4	2	2-2	6858.6	5575.0	247.90	3,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗВ
5	3	3-1	6866.0	5576.9	251.90	6,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ПВГ
6	3	3-2	6866.0	5576.9	245.90	1,30	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗВ
7	4	4-1	6873.5	5576.9	252.20	4,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗТ
8	4	4-2	6873.5	5576.9	248.20	2,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ПВГ
9	4	4-3	6873.5	5576.9	246.20	3,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	ИЗВ

Таблица 6.5 – Фрагмент таблицы подготовленных данных по взрывным скважинам блока № 1659 гор. + 245 м для моделирования

№ скважины	Глубина интервала опробования, м		Длина интервала, м	№ интервала опробования	Петрографическая разность интервалов опробования	Глубина скважины, м	Координаты начала интервала опробования скважины		
	от	до					X	Y	Z
1	0	7,0	7,0	1-1	PVG	7,5	6855,2	5575,4	252,1
1	7,0	7,5	0,5	1-2	IZV		6858,6	5575,0	251,9
2	0	4,0	4,0	2-1	IZT	7,0	6866,0	5576,9	251,9
2	4,0	7,0	3,0	2-2	IZV		6873,5	5580,0	252,2
3	0	6,0	6,0	3-1	PVG	7,3	6880,8	5580,4	252,4
3	6,0	7,3	1,3	3-2	IZV		6885,1	5587,4	252,6
4	0	4,0	4,0	4-1	IZT	9,0	6887,0	5591,5	252,7
4	4,0	6,0	2,0	4-2	PVG		6894,1	5596,3	252,0
4	6,0	9,0	3,0	4-3	IZV		6898,3	5599,3	251,8

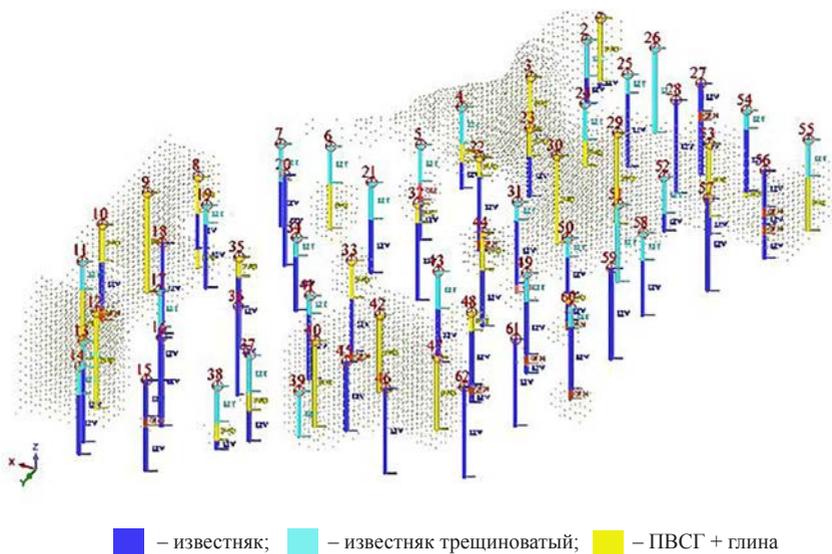


Рисунок 6.11 – Отображение данных геологической базы в виде скважин с интервальными колонками оцениваемых характеристик блока № 1659 гор. + 245 м

Этап подготовки данных включает в себя следующие операции: условная классификация по типу встречаемых петрографических разностей в опробуемых взрывных скважинах (известняк, известняк трещиноватый, глина, зона с повышенным содержанием глины, глина и т.п.); разбиение на петрографические интервалы по глубине скважины; трансформация подготовленных данных в соответствующий формат.

Этап построения блочной модели состоит из следующих операций: преобразования подготовленных данных в нормализованную геологическую базу данных; анализ соответствующих особенностей моделируемого объекта и определения условий для его моделирования; обоснование и выбор соответствующего метода пространственной интерполяции данных (применен метод «обратных расстояний»); композитирование данных по скважинам с заданным интервалом; создание блочной модели блока № 1659 гор. + 245 м.

Построенная блочная модель – это трехмерное геометрическое пространство взрывного блока № 1659 гор. + 245 м, представленное в виде блоков с заданными параметрами и распределенными в их пространстве

(объеме) значениями оцениваемых показателей. Для удобства последующей оценки из модели блока были отдельно выделены участки известняка и зон ПВСГ + глина (рис. 6.12 – 6.13).

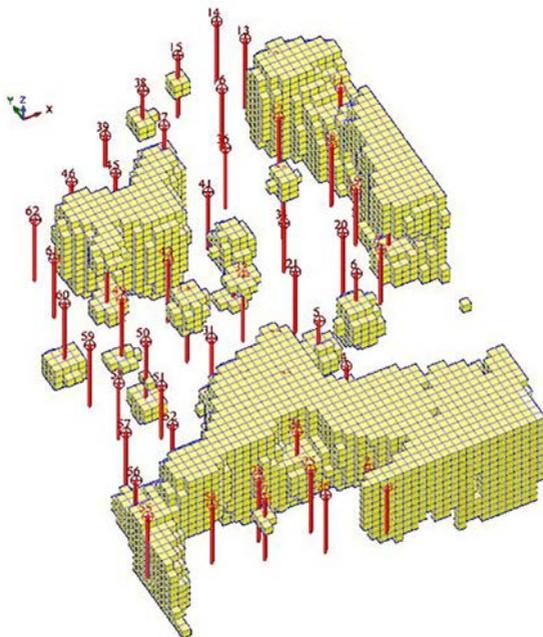


Рисунок 6.12 – Блочная модель участка зон ПВСГ + глина взрывного блока № 1659 гор. + 245 м

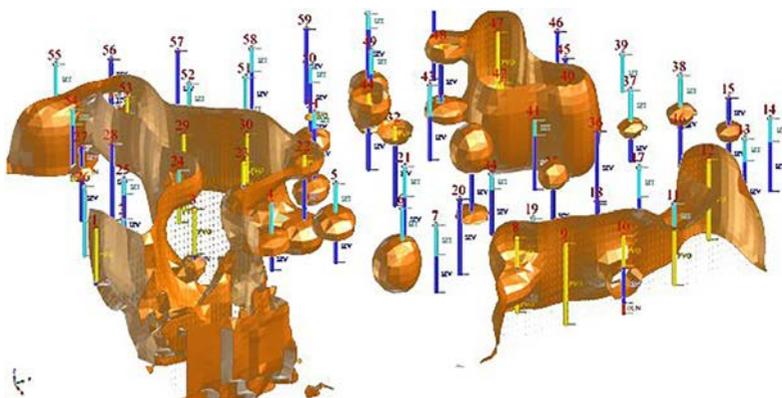


Рисунок 6.13 – Модель тел, слагающих зону ПВСГ + глина во взрывном блоке № 1659 гор. + 245 м

Результаты количественной оценки распределения и соотношения известняка и зон ПВСГ + глины в границах взрывного блока № 1659 гор. + 245 м представлены в табл. 6.6.

Таблица 6.6 – Количественное распределение известняка и зон ПВСГ + глина на основе блочной модели взрывного блока № 1659 гор. + 245 м

Оцениваемые участки	Количество оцениваемых разновидностей в блоке		Соотношение разновидностей в блоке	Потери в блоке (рассчитанные по рекомендациям в проекте), $P_6 = V_6 \times K_3 / 100 \times K_{из} / 100$ $K_{из} = 60\%$, т		Потери в блоке (рассчитанные по регрессионной модели)	
	м ³	т		%	т	%	т
Известняк	16537,0	42003,98	78,2	6944,12	13,1	6243,3	13,02
Зона ПВСГ + глина	4619,0	11085,6	21,8				
Итого по блоку	21156,0	53089,58	100,0				

Таким образом, результаты блочного моделирования подтверждаются соответствующими объемами добытого известняка и потерями, установленными в ходе горно-геометрического анализа.

6.4. Текущее планирование горных работ в режиме управления качеством титаномагнетитовой руды на примере ОАО «ЕВРАЗ КГОК»

Дальнейшие исследования Гусевогорского месторождения были связаны с исследованиями планирования горных работ в режиме управления качеством титаномагнетитовой руды в пределах Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК». Для этого гор. + 160 м был разбит на 18 каркасных моделей (прирезок) (рис. 6.14), каждая с объемом рудной массы, равным годовой производительности среднесписочного экскаватора; шаг подвигания горных работ соответствует проектной ширине рабочей площадки для автотранспорта – 57 м при высоте уступа – 15 м.

Для каждой модели прирезки была выполнена оценка химического состава (определены содержания железа, титана и ванадия) и показателя обогатимости (содержание железа в концентрате, %), а также рассчитаны статистические характеристики. По результатам анализа отмечено, что

в прирезках №№ 5, 6 и 41 наблюдается большой процент некондиционной руды по содержанию железа общего, в то же время часть этой руды нормальнообогатимая (рис. 6.15, табл. 6.7).

Организация внутрикарьерного усреднительного перегрузочного склада позволяет производить шихтование богатой руды и некондиционной по содержанию железа общего, но относящейся к нормальнообогатимой, что увеличивает минерально-сырьевую базу предприятия без ухудшения качества товарной продукции.

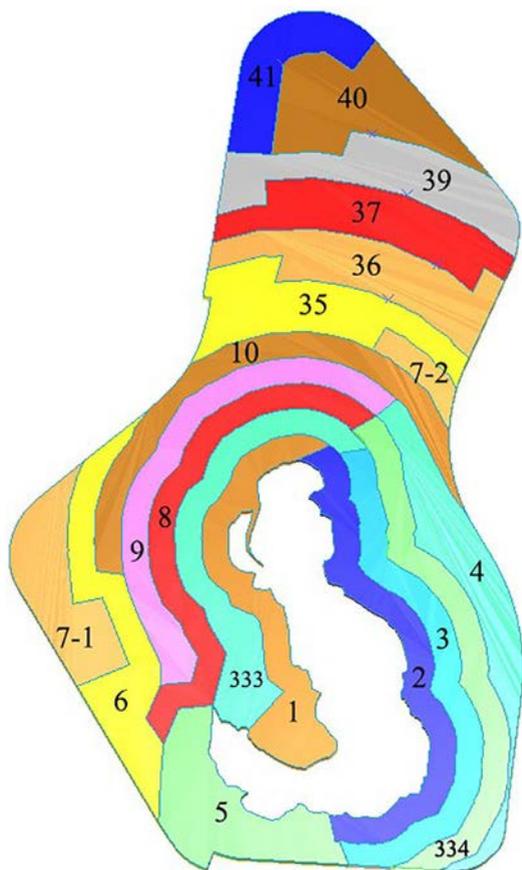


Рисунок 6.14 – Каркасная модель гор. +160 м Северного карьера с выделением в виде объектов годовых объемов выемки среднесписочного экскаватора (цифрами обозначены номера объектов)

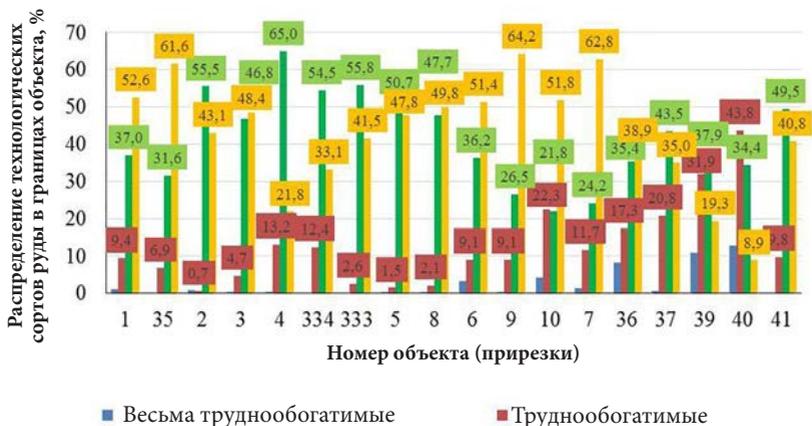


Рисунок 6.15 – Распределение технологических сортов руды по показателю обогатимости (содержание Fe в концентрате, %)

Таблица 6.7 – Объекты – каркасные модели (прирезки) некондиционных по содержанию Fe_{общ} рудных участков гор. + 160 м Северного карьера, но соответствующих по обогатимости типу руды – нормальнообогатимая

№ модели	Распределение объемов технологических сортов руды, %				Доля некондиции за вычетом труднообогатимой и весьма труднообогатимой руды, %
	Легкообогатимая	Нормальнообогатимая	Труднообогатимая	Весьма труднообогатимая руда	
41	40,8	49,5	9,8	0	27,3
5	50,7	47,8	1,5	0,01	29,8
6	51,4	36,2	9,1	3,4	12,0

6.5. Моделирование качественных показателей Серовского месторождения комплексных руд

Общие сведения. Месторождение расположено на восточном склоне Северного Урала. В административном отношении Серовское месторождение входит в Серовский и, частично (в западной части), в Красноуральский районы Свердловской области.

Горно-геологические условия. Серовское месторождение осадочных железных руд и Серовское месторождение силикатных никелевых руд следует рассматривать как единое месторождение, поскольку промышленная отработка одного из них может оказать существенное влияние на экономические показатели отработки другого. Геологическими изысканиями было выявлено и разведано 6 участков с никеленосной корой выветривания, представляющих промышленный интерес (рис. 6.16, табл. 6.8).

Особенности горно-геологических условий месторождения:

– месторождение характеризуется сильной обводненностью и большими водопритоками;

– рыхлые породы покрывающей толщи обладают низкой механической прочностью;

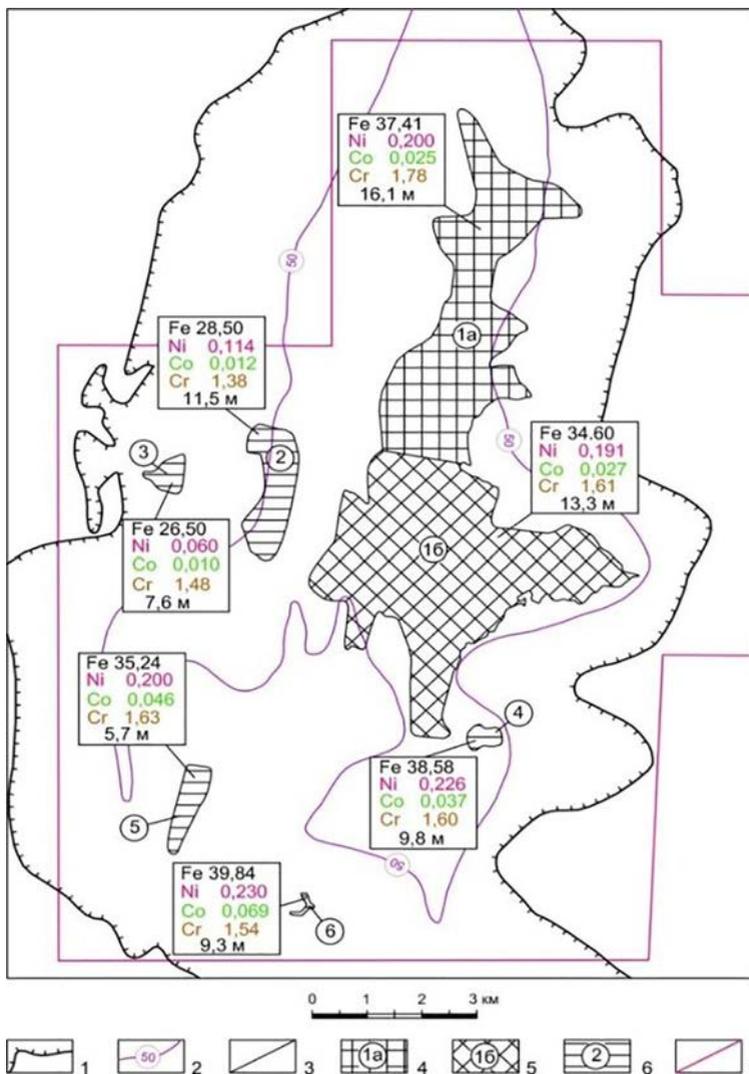
– на поверхности лицензионного участка находятся капитальные объекты: железнодорожная ветка федерального значения, автодорога, газопровод;

– данные детальной разведки сильно разряжены, для руд характерно отсутствие четких геологических контактов, что, в свою очередь, может приводить к увеличению потерь и разубоживания, необходима доразведка перспективных участков (половина утвержденных запасов находится в категории C_2).

– глубина залегания рудных тел незначительна, согласно ТЭО временных кондиций применение параметра бортового содержания было принято нецелесообразным, поскольку приведет к усложнению границ рудных тел и, главное, к удалению части полезного компонента из подсчета;

– при подсчете запасов учтены все пробы осадочных железных руд в их геологических границах.

Полезными компонентами осадочных железных руд являются железо, хром, кобальт и никель. В результате углетермической металлургической переработки этих руд получается сплав (чугун), содержащий 4,13% хрома и 0,478% никеля, который, в свою очередь, служит основной составляющей шихты для выплавки жаропрочных и износостойких чугунов по ГОСТ 7769.



1 – контур Замарайской депрессии; 2 – изогипса + 50 м палеозойского фундамента депрессии; 3 – границы рудных тел при минимальной мощности 4 м; 4 – 5 – основная залежь, в т.ч. ее северная (4) и южная (5) части; 6 – другие, более мелкие рудные тела и их номера; 7 – граница лицензионной площади

Рисунок 6.16 – Рудные тела Серовского месторождения осадочных железных руд

Таблица 6.8 – Параметры продуктивных залежей осадочных железных руд Серовского месторождения

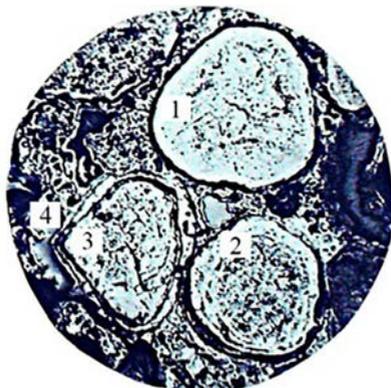
Название (номер) рудного тела	Размер в плане, м		Площадь, кв. км	Мощность, м	Содержание, %				Доля запасов руды, %
	длина	ширина			Fe	Ni	Co	Cr	
Основная залежь, в т.ч. северная часть (1-а)	12200	700 – 5400	23,2	14,7	36,53	0,197	0,026	1,78	94,24
южная часть (1-б)	6800	700 – 2500	9,3	16,1	37,41	0,200	0,025	1,86	53,70
2	5400	850 – 5400	13,9	13,3	34,60	0,191	0,027	1,61	40,54
3	2600	700	1,52	11,5	28,50	0,114	0,012	1,38	4,65
4	800	650	0,35	7,6	26,50	0,060	0,010	1,48	0,52
5	450	600	0,23	9,8	38,58	0,226	0,037	1,60	0,49
6	1700	450	0,67	5,7	35,24	0,200	0,046	1,63	0,02
6	450	100	0,06	9,3	39,84	0,230	0,069	1,54	0,08
Месторождение	16050	9250	26,0	13,2	35,98	0,190	0,026	1,70	100,00

По результатам геологических исследований руд Серовского месторождения выявлено 2 природных типа:

– бобово-конгломератовые железные руды, составляющие основной объем месторождения;

– силикатные латеритные никелевые руды.

Бобово-конгломератовые руды состоят из железистых бобовин, рудных и нерудных галек, оолитов и песчаного материала (рис. 6.17).



1 – рудные бобовины магнетитовые; 2 – бобовины существенно гидрогематитовые; 3 – преимущественно магнетитовые бобовины; 4 – цемент пористый гетит-гидрогематитовый с участками развития карбоната (вмещающая порода)

Рисунок 6.17 – Строение бобово-конгломератовых железных руд (под электронным микроскопом)

Оценка качества комплексных руд. Бобово-конгломератовые руды (железные руды) составляют основные запасы месторождения. Мощность пласта в восточной части месторождения достигает 34,0 м, в западной – не превышает 13 м. Глубина залегания 16÷156 м.

По своим физическим свойствам и составу цемента (вмещающей породы) руды делятся на 3 типа: бобово-конгломератовые плотные, бобово-конгломератовые с глинистым цементом и глинистые. Среднее содержание ценных компонентов: Fe – 35,24%, Ni – 0,18%, Co – 0,019%, Cr – 1,62%.

Латеритные охристые руды (кобальт-никелевые), связанные с корой выветривания, имеют ограниченное распространение. Они сохранились на отдельных участках серпентинитов в восточной части месторождения. Мощность горизонта латеритных охристых руд 0,3 – 29,5 м, глубина залегания 0,5 – 102 м. Среднее содержание ценных компонентов: Fe – 41,3%, Ni – 0,73%, Co – 0,106%, Cr – 1,44%.

Бобово-конгломератовые руды состоят из железистых бобовин, рудных и нерудных галек, оолитов и песчаного материала.

Размеры бобовин варьируют в широких пределах – от десятых долей миллиметра до 11 мм, наиболее часто не превышают 2,5 – 4,0 мм. Их форма различна – от округлой до неправильной. Рудные гальки, в основном, угловато-окатанные, имеют размер до 3,0 см.

В бобово-конгломератовых рудах установлены следующие минералы: магнетит, хромшпинелиды, минералы группы окислов и гидроокислов железа, карбонаты, хлориты, сульфиды, ильменит, рутил, сфен, циркон, гидраргиллит, каолинит, гидрослюда, галлуазит, кварц, полевой шпат, тальк, апатит, эпидот. Цементирующей массой являются гидроокислы железа, лептохлориты, карбонаты, гидраргиллит.

На основании данных о химическом составе руд выделено 3 технологических типа (табл. 6.9).

Особую ценность в составе руды представляет хром. Содержание окиси хрома в отдельных пробах достигает 6,96%, среднее содержание – 1,69%. В основном он входит в состав хромпикотита, меньшее его количество связано с хлоритами и минералами гидроокиси железа. Наибольшая часть хрома приурочена к рудам восточной части месторождения, где отмечено наибольшее количество зерен хромшпинелидов. В западной части имеются участки, где хром в рудах отсутствует почти полностью.

Таблица 6.9 – Химический состав бобово-конгломератовых руд

Компоненты	Технологические типы руд			Средний состав бобово-конгломератовой руды в % соотношении разновидностей: I – 20, II – 45, III – 35
	1	2	3	
	Руда бобово-конгломератовая плотная (I)	Руда бобово-конгломератовая рыхлая (II)	Руда охристая и охристо-глинистая (III)	
SiO ₂	6,27	15,5	11,42	12,23
TiO ₂	0,65	0,69	0,65	0,65
Al ₂ O ₃	11,34	11,65	13,33	13,53
Fe _{общ}	46,99	36,35	42,79	40,73
Fe ₂ O ₃	59,36	50,95	56,54	54,59
FeO	7,05	0,92	2,48	2,69
CaO	0,59	сл.**	сл.	сл.
MgO	1,17	1,38	1,13	1,25
MnO	0,14	0,12	0,12	0,12
Mn	0,11	0,10	0,10	0,10
Cr ₂ O ₃	2,92	2,51	2,92	2,75
NiO	0,14	0,44	0,26	0,26
Ni	0,11	0,35	0,22	0,21
Co	0,038	0,048	0,041	0,042
V ₂ O ₃	0,11	0,11	0,11	0,11
P	0,059	0,021	0,02	0,035
S	0,11	0,04	0,055	0,059
П.п.п.*	9,26	11,53	8,12	9,60

*П.п.п. – потери при прокаливании, **сл. – следы

Из ценных легирующих примесей в рудах находятся никель, кобальт, ванадий, марганец. Среднее содержание никеля составляет 0,25% при колебаниях от 0,04 до 1,27 – 2,2%. Содержание никеля менее – 0,2%. Руды с более высоким содержанием никеля приурочены преимущественно к восточной части месторождения (вблизи массива серпентинитов). Среднее содержание кобальта в бобово-конгломератовых рудах – 0,0279%, максимальные значения достигают 0,22 – 0,41%. Содержание ванадия отмечается в сотых долях процента (0,02 – 0,03%), количество марганца не превышает 0,13%. Марганец, входит, в основном, в состав псиломелана. Вредными примесями в рудах являются сера и фосфор с содержанием в сотые доли процента.

Статистическая обработка данных. Для оценки качественных показателей природных типов руд установлен характер распределения в них ценных компонентов. Установлено, что при примерно равном среднем содержании Fe_{общ} в бобовых и латеритных рудах как по интервалам (клас-

сам) содержаний, так и в целом (36,39 и 39,05% соответственно) у них существенно различается характер распределения содержания $Fe_{общ}$. Бобовые руды имеют распределение $Fe_{общ}$, близкое к одномодальному, а для латеритных руд характерно экспоненциальное распределение с преобладанием высоких классов содержаний (рис. 6.18).

Бобовые и латеритные руды имеют различный характер распределения содержаний хрома. Для бобовых типично несколько асимметричное одномодальное распределение с преобладанием содержаний в классах 1 – 3% и средним содержанием 1,69%. В латеритных рудах преобладают более низкие классы содержаний (0,5 – 1,5%) с максимумом 0,76%, средневзвешенное содержание $Cr = 1,40\%$ (рис. 6.18).

Распределение содержаний никеля в бобовых рудах имеет резко асимметричный характер с преобладанием классов до 0,3%, составляющих 80% всей выборки, среднее содержание $Ni = 0,25\%$. В латеритных рудах никель распределен относительно равномерно при незначительной (15,7%) доле содержаний в классах до 0,3%. Преобладают классы содержаний $Ni \geq 0,5\%$, среднее содержание $Ni = 0,67\%$.

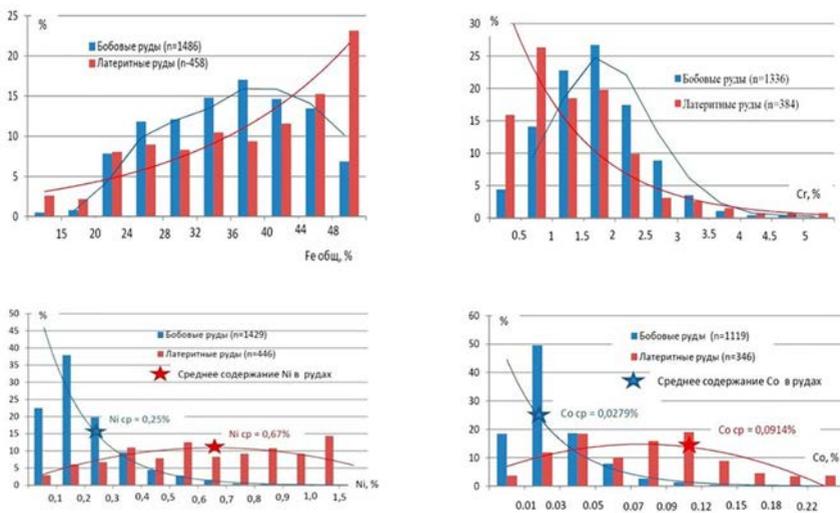


Рисунок 6.18 – Распределение $Fe_{общ}$, Cr, Ni и Co в бобовых и латеритных рудах по классам содержаний

Распределение содержаний кобальта в рассматриваемых типах руд аналогично никелю. В бобовых рудах среднее содержание $Co = 0,0279\%$, в латеритных $Co = 0,0914\%$. Таким образом, установлено, что бобово-конгломератовые железные и латеритные охристые кобальт-никелевые руды принадлежат к различным природным типам рудных образований, что подразумевает их технологическое картирование для организации раздельной добычи и переработки.

Анализ химических показателей бобовых железных руд Серовского месторождения (табл. 6.10) позволяет разделить их по количеству цемента (вмещающих пород) и степени выветрелости на различные технологические сорта. Высокие коэффициенты вариации качественных показателей свидетельствуют об их высокой изменчивости и необходимости детального погоризонтного анализа распределений содержания полезных компонентов.

Геоинформационное моделирование качественных показателей комплексных руд. Исходными данными для моделирования явились скважины детальной разведки, план подсчета запасов, геологические разрезы, а также карта с координатами разведочных скважин. Массив данных представлен 31 разведочным профилем, поверхность сформирована на основании 538 скважин детальной разведки.

Для моделирования использованы данные интервального опробования, которые в геологической базе описываются только по 199 скважинам (рис. 6.19), что ограничивает точность прогноза качественных показателей.

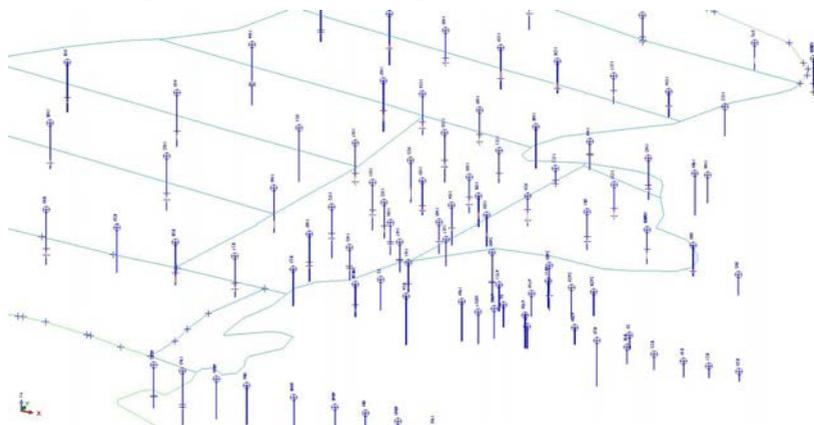
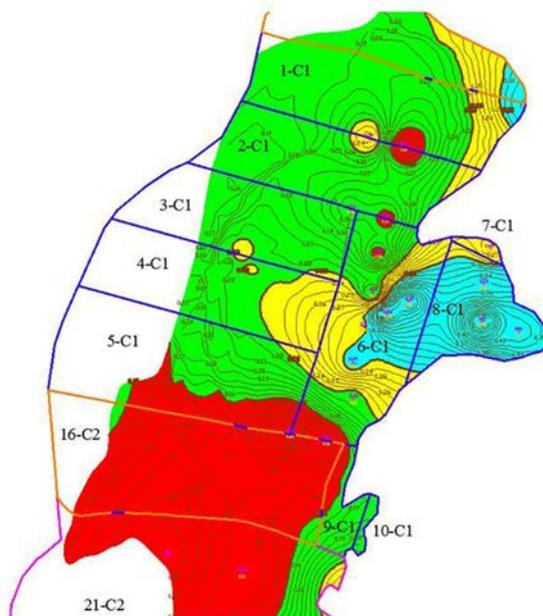


Рисунок 6.19 – Фрагмент геологической базы данных на фоне блоков подсчета запасов

Таблица 6.10 – Распределение природных и технологических видов руд на горизонте + 40 м Серовского месторождения комплексных руд

Наименование руды		Содержание Ni, %	Распределение в % от площади горизонта
Природные типы	Технологические типы	> 0,30	3.96
Латеритно-охристые коры выветривания	Кобальт-никелевые		
Бобово-конгломератные осадочные железные	Рыхлая	0,30 – 0,23	5.25
	Охристая и охристо-глинистая	0,23 – 0,15	54.25
	Плотная	< 0,15	36.53



	Латеритные охристые руды (кобальт-никелевые)
	Рыхлая бобово-конгломератная руда
	Охристая и охристо-глинистая бобово-конгломератная руда
	Плотная бобово-конгломератная руда

Рисунок 6.20 – Фрагмент распределения содержания железа общего в форме изолиний, а также природных и технологических сортов руды для горизонта + 40 м (северный участок) в пределах границ блоков подсчета запасов

Среднее расстояние между разведочными профилями составляет 1100 метров, между скважинами – 300 метров. Для моделирования и прогноза качественных показателей технологических типов руд, имеющих высокий коэффициент вариации содержаний ценных компонентов ($\geq 33\%$, до 60% и более), требуется данные опробования с параметрами сетки скважин 100×100 или 100×50 м.

В рамках отработки методики геометризации распределения качественных показателей (содержания ПИ) выполнены следующие пункты:

- по данным скважинного опробования построены погоризонтные планы;

- для интерполяции данных принят метод обратных расстояний;

- радиус поиска задан исходя из среднего расстояния между профилями – 1000 метров. Результаты моделирования отражены на рис. 6.20.

Отмечено, что латеритные руды расположены в восточной части северного участка, на контактах с лицензионным участком Уфалейникеля. В пределах границ месторождения преобладает охристая и глинисто-охристая разновидность бобово-конгломератной руды. Западная часть от центральной оси утвержденных запасов представлена плотными бобово-конгломератными рудами.

Выводы по главе 6

Анализ горно-геологических условий разработки месторождений ведущими железорудными ГОКами позволил систематизировать эти условия, выделить характерные геолого-промышленные типы месторождений и разделить их на группы, обладающие схожими морфологическими, качественными и гидрогеологическими признаками, определяющими выбор эффективной системы управления качеством сырья.

Установлено, что на ряде карьеров отмечается низкая механическая прочность вмещающих пород и повышенная их обводненность, что приводит к образованию оползней (Коршуновский ГОК, Михайловский ГОК). При этом повышенная минерализация вод разрушает оборудование и ухудшает экологическую ситуацию.

Отсутствие четких контактов «руда – порода» между типами руд (Костомукшский, Коршуновский, Качканарский ГОКи) приводит к повышению потерь и засорению ПИ, росту транспортных расходов.

На большинстве ГОКов отмечено влияние минералогического состава и присутствующих в рудах посторонних примесей (химических элементов) на качество обогащения (например, Mg на Коршуновском ГОКе, Ti на Качканарском ГОКе).

Похожие горно-геологические условия отработки месторождений и распределение их по группам геолого-промышленных типов позволяет совершенствовать:

- упрощенную (по аналогам) предпроектную оценку эффективности разработки проектируемых месторождений со схожими горно-геологическими условиями при недостатке исходных данных;

- обобщить и унифицировать действующие методики оценки, учета и контроля качественных характеристик запасов и рудопотоков для предприятий, эксплуатирующих месторождения со схожими горно-геологическими условиями, что может способствовать более широкому внедрению инноваций.

Установлены основные инновационные направления управления качеством рудопотоков на железорудных предприятиях России:

- 1) внедрение геoinформационных систем (ГИС) для моделирования месторождения с учетом качественных характеристик типов руд и их пространственного расположения в карьере; годовое, месячное сменное планирование горных работ с учетом данных ГИС (Surpac, MINEFRAME, AutoCad и др.);

- 2) система сменного планирования добычи и транспортирования руды с использованием перегрузочных складов (с авто на железнодорожный транспорт) для равномерного усреднения сырья по качественным параметрам руды;

- 3) постоянный контроль качества руды и пополнение компьютерной базы данных по данным эксплуатационной разведки, магнитного каротажа буровых скважин, опробования бурового шлама в лаборатории химического анализа, опробования в транспортных сосудах и др.;

- 4) диспетчеризация управлением технологическим оборудованием и грузопотоками в карьере на базе GPS, ГЛОНАСС-навигации и высокоскоростной связи Wi-Fi;

5) использование комплексов сухой магнитной сепарации в карьерном пространстве для отсекаания из рудопотока некондиционной руды и породных включений.

По результатам анализа фактических данных опробования 17 скважин эксплуатационной разведки Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» и моделирования распределения в пределах Северной залежи участков руды с показателями объемного веса и содержанием железа общего установлены прогнозные значения этих показателей в плане и по глубине карьера. Для практического применения с целью прогноза изменения значения объемного веса Северной залежи ОАО «ЕВРАЗ КГОК» от содержания общего железа рекомендуется применение регрессионной зависимости, установленной на основе экспериментальных данных опробования.

Установлены формы нахождения в составе титаномагнетитовой руды минерала ильменита ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) – основного минерала, способствующего переходу титана в железорудный концентрат, это ламели (пластинчатые сростки) ильменита в магнетите или компактные зерна ильменита различной формы в сростании с магнетитом – продукт собирательной перекристаллизации ламелей в результате метаморфизма.

На основе анализа имеющихся классификаций руд введен критерий комплексного показателя обогатимости, учитывающий также вкрапленность и показатель обогатимости; построены изолинии, характеризующие содержание химических элементов для карьеров Качканарского ГОКа.

Разработана методика учета показателя контрастности для выбора системы рудоподготовки, рассчитаны его значения и произведена геометризация горизонта + 160 м Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК». Установлена высокая колеблемость анализируемых параметров по содержанию ванадия и достаточно однородное содержание железа общего в пределах исследуемого участка карьера. Его использование целесообразно при качественном анализе предрасположенности одной и той же руды при различных способах ведения горных работ, разных схемах рудоподготовки и предварительного обогащения.

Разработана методика моделирования, учитывающая расстояние между скважинами эксплуатационной разведки путем разделения мас-

сива на ряд независимых объектов меньших размеров с примерно одинаковой пространственной удаленностью – это позволяет повысить точность прогноза, особенно при малом количестве широко разбросанных в пространстве данных.

Полученные результаты исследований послужат основой для разработки методики по обоснованию технологий управления качеством минерального сырья в системах рудоподготовки на горно-обогатительных предприятиях России.

На примере гор. + 160 м Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» и гор. + 40 м Серовского месторождения комплексных руд построены объемные модели для оценки пространственного распределения качественных показателей руд.

Для Северного карьера рассмотрена возможность приращения объемов нормальнообогащаемой руды, кратных годовой производительности экскаватора на рабочем горизонте, с целью обеспечения равномерной нагрузки обогатительной фабрики в режиме управления качеством сырья. Произведен статистический анализ качественных показателей руд, установлены объемы и характеристики некондиционной, труднообогащаемой и весьма труднообогащаемой типов руд.

По геологическим данным Серовского месторождения комплексных руд выполнен анализ горно-геологических условий, статистический регрессионный анализ качественных показателей руд, построены геoinформационные модели, на основании которых выделены и районированы природные и технологические типы руд. Результаты моделирования позволят разработать стратегию освоения комплексного месторождения.

Список литературы по главе 6

1. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев ; отв. ред. В. С.Хохряков. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. – 240 с.
2. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов / В. Л. Яковлев // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень. – Специальный выпуск № 30. – 2015. – С. 22 – 35.
3. Яковлев В. Л. Геоинформационная оценка изменчивости качества титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения / В. Л. Яковлев, Ю. В. Лаптев, А. М. Яковлев // Литосфера. – 2014. – № 5. – С.122 – 128.
4. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2. – С. 5 – 14. – DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.112.
5. Яковлев В. Л. Методика геометризации качественных характеристик Гусевогорского месторождения титаномагнетитовых руд / В. Л. Яковлев, Ю. В. Лаптев, А. М. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 11. – С. 286 – 296.
6. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев ; Ин-т горного дела Севера СО РАН. – Якутск: ЯНЦ СО РАН., 1992. – 116 с.
7. Кантемиров В. Д. Оценка влияния минерального состава титаномагнетитовой руды Гусевогорского месторождения на результаты магнитного обогащения / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов // Маркшейдерия и недропользование. – 2017. – № 3. – С. 49 – 52.
8. Кантемиров В. Д. Оценка влияния минерального состава титаномагнетитовой руды на результаты магнитного обогащения / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Обогащение руд. – 2017. – № 4. – С. 36 – 40.
9. Кантемиров В. Д. Предварительная оценка технологических типов титаномагнетитовых руд / В. Д. Кантемиров, А. М. Яковлев, Р. С. Титов, М. В. Козлова // Обогащение руд. – 2018. – № 3. – С. 56 – 59. – DOI: 10.17580/or.2018.03/10.
10. Кантемиров В. Д. Основные тенденции производства железорудного сырья в России / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Горная промышленность. – 2018. – № 1. – С. 72 – 74. – DOI: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-72-74.

11. Кантемиров В. Д. Оценка засоренности массива известняка с использованием методов электроразведки / В. Д. Кантемиров, А. В. Тимохин, Р. С. Титов // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – № 2. – С. 21 – 31. – (Исследования выполнены в рамках Гос. задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0015).
12. Кантемиров В. Д. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Проблемы недропользования – 2016. – № 4. – С. 170 – 178. – DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.170. – (Исследование проведены при вып. конкурс. проекта фундамент. исслед. УрО РАН 12-Т-5-162).
13. Выделение технологических типов руд Гусевогорского месторождения титаномагнетитов методами геоинформационного моделирования и предварительной оценки их обогатимости / С. В. Корнилков, В. Д. Кантемиров, А. М. Яковлев, Р. С. Титов // Проблемы комплексного освоения георесурсов: сборник докладов VII Международная научная конференция = VII International scientific conference "Problems of Complex Development of Georesources", (Khabarovsk, Russia, September 25-27, 2018). – 2018. – doi.org/10.1051/e3sconf/20185603014.
14. Месторождения полезных ископаемых / В. А. Ермолов, Г. Б. Попова [и др.] – М.: Горная книга, 2009. – 570 с.

ГЛАВА 7. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Активное развитие угледобывающих предприятий, особенностью которых является высокий уровень риска возникновения негативных событий, усложняет условия конкурентной борьбы, требуя соответствующего темпа повышения уровня безопасности производства. Поэтому на сегодняшний день основными контролируемыми параметрами конкурентоспособности угледобывающих предприятий являются эффективность и безопасность производства.

Стремясь повысить свою конкурентоспособность, компании ориентируются на известные во всем мире концепции (системы) производственного менеджмента, которые позволяют добиться повышения эффективности производства, снизить издержки, сократить длительность производственного цикла [4]. Мировая практика работы угледобывающих предприятий показывает, что высокий уровень безопасности производства является значимым конкурентным преимуществом, поскольку обеспечивает надежность функционирования предприятия при достижении требуемого уровня его экономической эффективности.

Значимость безопасности, как одного из главных конкурентных преимуществ угледобывающего предприятия, постоянно растет, поскольку шахты и разрезы во всем мире сопоставимы как по условиям производственной деятельности, так и по применяемым способам обеспечения безопасности производства. В условиях, когда и основные технико-технологические средства производства, и средства (методики) обеспечения безопасности стандартизированы, распространены и осваиваются на предприятиях угольной отрасли во всем мире, конкурентные преимущества приобретаются благодаря применению результативных способов действий и методик в области обеспечения безопасности.

Взаимосвязь эффективности и безопасности особенно значима в переходные периоды, когда изменения в организации и технологии производства сопровождаются увеличением потенциального социально-экономического ущерба, в том числе для здоровья работников,

в результате наступления негативных событий, связанных с производственной деятельностью предприятия, то есть возрастанием производственного риска.

Обобщение характеристик переходных процессов и закономерностей функционирования горнодобывающего предприятия позволило установить, что основной задачей переходного периода является стабилизация параметров системы, то есть выявление и устранение отклонений параметров производства от заданных значений. Удержание параметров производственных процессов в заданных коридорах значений необходимо на всем протяжении переходного периода, поскольку этим обеспечивается устойчивость предприятия в условиях повышенного уровня риска, вызванного нестабильностью внешней и внутренней среды функционирования предприятия. Это особенно важно и для решения других, долгосрочных задач переходного периода.

Нивелировать специфические особенности переходного периода: заторможенность (инерционность) процесса воспроизведения и развитие новых форм, элементов и экономических институтов, которые чаще всего являются его главными проблемами, – возможно при условии, что деятельность по обеспечению безопасности в переходный период будет ориентирована на снижение уровня производственного риска. Именно эта задача становится основной в рамках функционирования системы обеспечения безопасности производства (СОБП).

Исследования функционирования на угледобывающих предприятиях систем управления промышленной безопасностью (СУПБ), созданных за последние 20 лет, и их взаимодействия с существующими традиционными системами управления охраной труда (СУОТ) показали, что они трансформируются в единую систему обеспечения безопасности производства (СОБП). В рамках работы СОБП указанные системы функционируют, с одной стороны, как самостоятельные, с другой – как взаимосвязанные подсистемы (рис. 7.1).

Подсистемы СУПБ и СУОТ имеют взаимодополняющие цели – создание и поддержание на рабочих местах предприятия безопасных условий труда (цель системы управления охраной труда) и обеспечение безопасности технологических процессов (цель системы управления промышленной безопасностью; в Федеральном законе № 116 она сформулирована

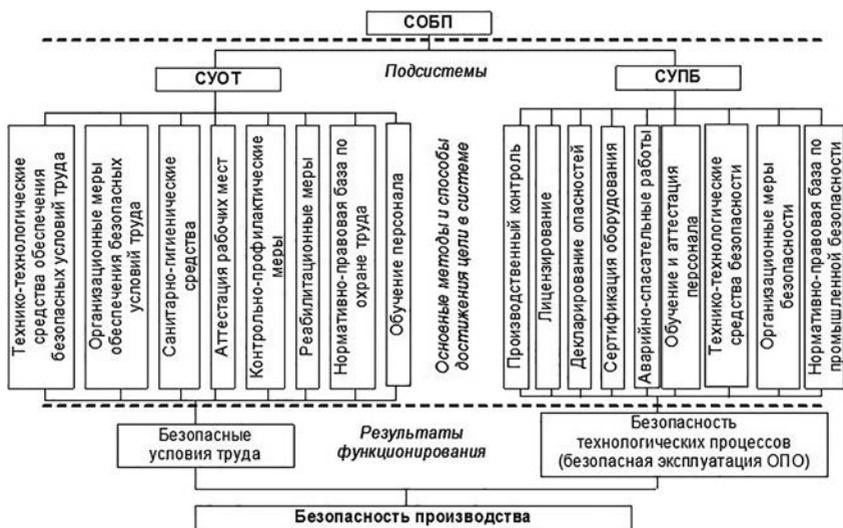


Рисунок 7.1 – Структура системы обеспечения безопасности производства

как «обеспечение безопасной эксплуатации опасных производственных объектов»). В соответствии с целями подсистем одной из основных задач системы обеспечения безопасности производства является снижение уровня риска аварий и травм.

В переходный период деятельность по обеспечению безопасности должна быть ориентирована на снижение уровня производственного риска, поскольку производственный риск характеризует потенциальный социально-экономический ущерб, в том числе для здоровья работников, в результате наступления негативных событий (травм, аварий, инцидентов и простоев, включая остановки по решению суда), связанных с производственной деятельностью предприятия. Основные задачи, решаемые в рамках функционирования системы обеспечения безопасности в переходный период, представлены в табл. 7.1.

Начинать работу целесообразно с решения задачи «Стабилизация параметров системы», поскольку остальные задачи переходных процессов на угледобывающем предприятии имеют долгосрочный период реализации.

Таблица 1 – Основные задачи, характерные для переходных процессов, и способы их реализации в системе обеспечения безопасности производства (на примере АО «СУЭК-Кузбасс»)

Задача переходного процесса	Планируемый результат	Способ реализации
Структурные преобразования	Устранены диспропорции в системе в целом и в отдельных ее элементах	Формирование системы компетенций работников в области обеспечения безопасности производства и интеграция ее в организационную структуру угледобывающего предприятия
Институциональные преобразования	Создание системы информирования, локальных нормативных актов и методик	Внедрение программы «Единая книга предписаний и формирования сменных нарядов». Формы регистрации (учета) повторяющихся нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций и планирования их устранения. Форма планирования работ – дорожная карта.
Социальная защита	Адаптация работников к новым задачам, требованиям и условиям	Формирование компетенции работников в части контроля и устранения повторяющихся нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций. Применение предсменных экзаменаторов. Создание и освоение системы премирования за устранение повторяющихся нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций. Институт общественных инспекторов. Поведенческие аудиты безопасности
Стабилизация параметров системы	Контроль отклонений системы от заданных значений	Разработка и освоение коэффициентов устраняемости и повторяемости нарушений требований безопасности. Фиксация и контроль опасных производственных ситуаций и их стадий развития с целью недопущения аварий и травм. Институт общественных инспекторов. Поведенческие аудиты безопасности

Удержание параметров безопасности производственных процессов в заданных коридорах значений необходимо на всем протяжении переходного периода, поскольку этим обеспечивается устойчивость предприятия в условиях повышенного уровня риска, вызванного нестабильностью внешней и внутренней среды функционирования предприятия.

7.1. Производственный конфликт и его влияние на системы обеспечения безопасности производства

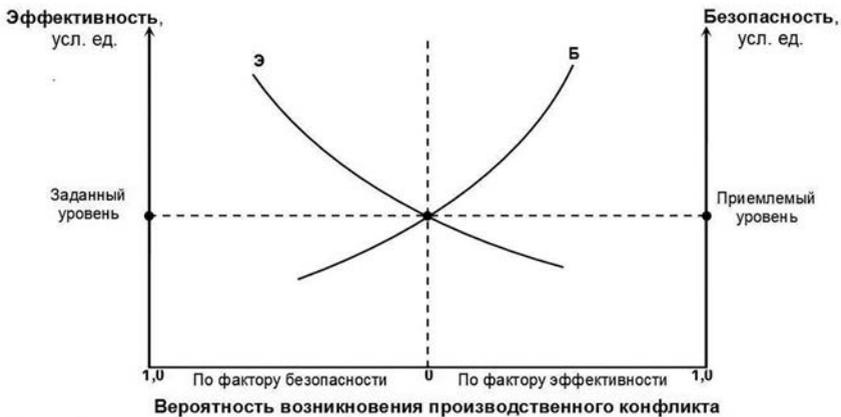
Практика работы угледобывающих предприятий в динамичных условиях среды показывает, что обеспечение безопасности производства в условиях непрерывного и значительного наращивания его эффективности, определяющего динамику внутренней среды, как правило, приводит к обострению конфликта, проявляющемуся либо в ограничении эффективности производства, либо в снижении его безопасности.

Производственный конфликт – это столкновение интересов персонала предприятия в процессе выполнения им производственных функций, вызванное тем, что достижение эффективности этих функций невозможно при обеспечении их безопасности и наоборот [5]. Исходя из принятого определения, вероятность возникновения производственного конфликта зависит от двух факторов – эффективности и безопасности. То есть, при определенных условиях в процессе осуществления производственной деятельности возникает конфликт между задачами обеспечения эффективности (производительности) и безопасности производства. Эти задачи взаимосвязаны – организационно и функционально – и не могут решаться отдельно (изолированно) друг от друга, а также находятся в постоянном, часто высокочастотном взаимодействии.

Для логического описания взаимосвязи указанных задач целесообразно применить оптимизационную модель. Оптимумом является точка пересечения осей, характеризующих состояние эффективности и безопасности производственного процесса при условии обеспечения заданного уровня эффективности и приемлемого уровня риска травм и аварий. Точка оптимизации обеспечивает стремящееся к нулю значение вероятности возникновения производственного конфликта (рис. 7.2).

Из представленного графика видно, что отклонение от оптимизационного режима параметров эффективности ведет к снижению уровня безопасности, а отклонение параметров безопасности – к снижению экономической эффективности производственного процесса. При одновременном отклонении параметров эффективности и безопасности вероятность возникновения производственного конфликта рассчитывается по формуле:

$$P = (P_3 + P_6)/2, \quad (7.1)$$



Э — эффективность производства; Б — безопасность производства

Рисунок 7.2 – График определения характера взаимодействия между эффективностью и безопасностью производственного процесса

где $P_Э$ – вероятность экономических потерь;

$P_Б$ – вероятность снижения уровня безопасности.

При изучении очевидных проявлений антагонизма задач обеспечения эффективности и безопасности производства установлено, что это противоречие подчиняется закону диалектики о единстве и борьбе противоположностей, то есть, существующее противоречие обеспечивает развитие производства. На практике это означает, что в условиях высокой динамики рыночной среды, когда непрерывный рост эффективности производства стал условием работы горнодобывающих предприятий, необходимо постоянно обеспечивать их устойчивость. Устойчивая и стабильная работа горнодобывающего предприятия напрямую зависит от результативности системы обеспечения безопасности производства, поскольку обеспечение безопасности предполагает:

1. Соблюдение требований государства (отраженных в законодательстве) для недопущения экономических (потеря предприятия) и социальных (гибель работника) потерь.
2. Вовлечение работников предприятия в деятельность по обеспечению его эффективной работы и по дальнейшему его развитию.
3. Обеспечение конкурентных преимуществ предприятия на рынках продукции, капитала (инвестиций) и рынке труда.

То есть, результативность функционирования системы обеспечения безопасности производства проявляется в создании условий для бесперебойного протекания производственного процесса. Для гарантированного обеспечения устойчивости производства в рамках работы этой системы следует контролировать не только риск травм и аварий, но учитывать иные виды риска, влияющие на экономику предприятия.

Подтверждением существования на угледобывающих предприятиях производственных конфликтов, их проявлениями являются возникновение устойчиво повторяющихся нарушений требований безопасности и наличие опасных производственных ситуаций. Об обострении производственного конфликта на угледобывающих предприятиях свидетельствует возникновение аварий и травм, обусловленных повторяющимися нарушениями требований безопасности и опасными производственными ситуациями.

7.2. Основные виды рисков. Производственный риск

Для угледобывающих предприятий с подземным способом добычи характерны риски, возникающие, в основном, в технической, технологической и организационной системах. Структурирование рисков травмирования работников по источнику их возникновения позволило установить три вида рисков травмирования операционного персонала угледобывающего предприятия (табл. 7.2).

Фоновый (естественный) риск обусловлен конкретными горно-геологическими условиями отработки месторождений; способом добычи полезного ископаемого; уровнем развития горно-шахтного оборудования, технологии ведения горных работ, организации производства; наличием и качеством средств коллективной и индивидуальной защиты. Как правило, предприятие не может этот риск устранить или уменьшить, поскольку он соответствует экономическому, технико-технологическому, организационному уровню развития общества в целом.

Добавленный риск обусловлен нарушениями (невыполнением или ненадлежащим выполнением) требований безопасности, допускаемыми персоналом предприятия. Нарушения требований безопасности целесообразно разделить на две категории: вызванные низкой квалификацией и дисциплиной работников (добавленный индивидуальный риск) и несо-

Таблица 7.2 – Структура рисков травмирования персонала на угледобывающем предприятии ¹

Вид риска		Природа риска	«Носитель» риска	Контроль рисков		
				осуществление	наличие средств	наличие механизма
Фоновый риск		Трансграничная (многообразная)	Горно-геологические условия; конструктивные недостатки оборудования; несовершенство технологии	+	+	+
Добавленный риск, обусловленный нарушениями требований безопасности	индивидуальный	Поведенческая	Квалификация и дисциплина работника	+	+	+
	системный	Организационная	Дефекты организационной системы	—	—	—

ответствием организационной системы угледобывающего предприятия внешним и внутренним условиям его функционирования, то есть дефектами системы (добавленный системный риск).

Повышенный по сравнению с лучшими зарубежными угольными предприятиями и компаниями уровень риска травмирования работников отечественных предприятий объясняется наличием воспроизводимых нарушений. Под воспроизводимыми понимаются нарушения, которые возникают повторно в течение небольшого периода времени после их устранения. Их доля в общем количестве нарушений на предприятии составляет 50 – 70%. Именно добавленные риски, обусловленные воспроизводимыми нарушениями требований безопасности, являются источником основного количества травм.

Параметры и факторы, приведенные в работе [18], в рамках данного исследования были проанализированы с точки зрения видов риска, который они обуславливают (табл. 7.3).

¹ По результатам аналитической обработки фактографических и статистических данных по российским и зарубежным угледобывающим предприятиям (данные А.И. Добровольского)

Таблица 7.3 – Факторы и виды риска

Фактор риска	Вид риска ²	
	Фоновый	Добавленный
Изменение физико-механических свойств массива горных пород при эксплуатации месторождения, процессы сдвижения и деформации горных пород в зоне влияния подземной разработки с образованием зон сдвижения земной поверхности, трещин, воронок и провалов	✓	
Склонность месторождения и массива горных пород или их части к горным ударам	✓	
Нарушенность массива горных пород подземными выработками, наличие пустот отработанных камер и блоков в контуре карьера		✓
Неблагоприятное воздействие массовых взрывов в карьере и подземном руднике (сейсмическое воздействие на перераспределение напряжений в массиве горных пород, возможности загазованности горных выработок ядовитыми продуктами массовых взрывов, выброса горной массы в карьер при ведении подземных массовых взрывов и т.д.)		✓
Наличие аэродинамических связей между открытыми и подземными горными работами при комбинированной разработке месторождения		✓
Возникновение пожаров при совмещенной разработке месторождений полезных ископаемых, склонных к самовозгоранию		✓
Внезапные прорывы воды в горные выработки карьеров и шахт		✓
Влияние климатических условий района на отработку запасов в зоне карьера	✓	

✓ – определяющий вид риска

В ходе исследования установлено, что нераспознанность опасного фактора и неадекватная оценка работниками опасности возникновения негативного события обуславливает наличие значительного количества отклонений производственного процесса от требований безопасности. На горнодобывающих предприятиях на безопасное ведение работ оказывают влияние отклонения производственного процесса как непосредственно от требований безопасности, так и от требований нормативной и технической документации.

При проектировании разработки месторождения и составлении календарного плана горных работ предусматриваются инженерные решения,

² Виды риска были приняты в соответствии с работой А.И. Добровольского [6, 9]

исключающие или минимизирующие возможность возникновения травм и аварий на всех предприятиях, входящих в данный комплекс. Эти решения контролируются компетентными государственными органами. Однако практика показывает, что эти инженерные решения выполняются не всегда и не в полной мере. Причинами, вызывающими отклонения от принятых решений, являются:

1. Большие скорости и мощности производственных процессов.
2. Разные скорости проявления факторов.
3. Недостаточная проработанность технологических и организационных регламентов на предприятиях, приводящая к рассогласованности взаимодействия участков, служб и отдельных работников этих предприятий.
4. Разнородная культура производства и культура безопасности персонала.
5. Недостаточная и разноуровневая квалификация руководителей, специалистов и операторов.
6. Неотлаженность информационного обеспечения по всем уровням управления производством.
7. Осознанная работа персонала с нарушением требований правил безопасности, в том числе в опасных производственных ситуациях.

Перечисленные причины имеют разную природу и различное влияние на безопасность производства. Первые две относятся к проявлениям природных и технико-технологических факторов. Следующие четыре – следствия определенного уровня организации производства, а именно – выстроенных на предприятии взаимоотношений и взаимодействия персонала. Но именно седьмая причина, завершающая всю работу производственной системы предприятия конкретными действиями операционного персонала, окончательно приводит к формированию неприемлемо высокого риска травм и аварий.

Фактически, перечисленные причины невыполнения (неполного выполнения) инженерных решений являются дополнительным источником опасностей, и практически всегда главная причина – не техническая или технологическая, а организационная: то есть действия и взаимодействие персонала, не адекватные реальным опасностям производственных ситуаций.

Другими словами, существует высокая вероятность, что горнодобывающие предприятия из-за недостаточного уровня организации про-

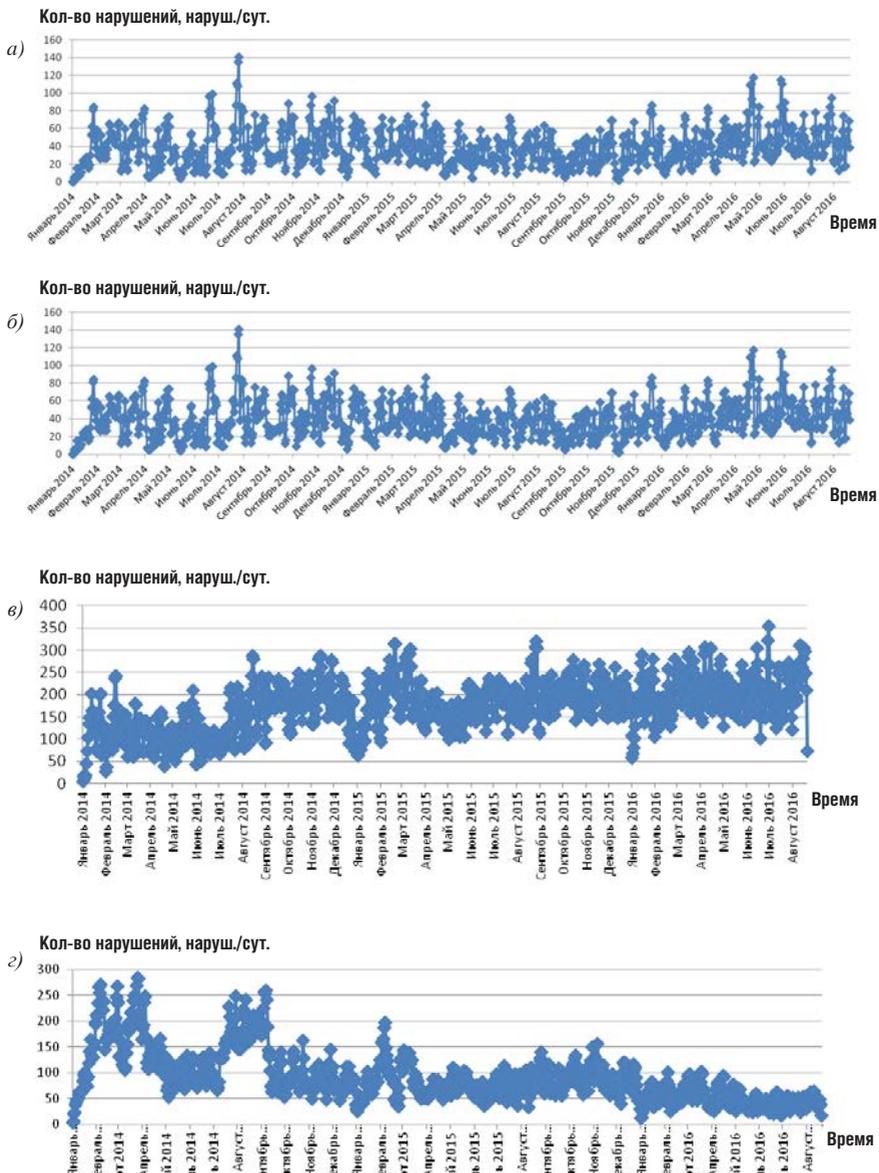


Рисунок 7.3 – Динамика суточного количества нарушений (средние значения):
а) в разрезеуправлении; б) в шахтоуправлении «Талдинское-Западное»;
в) на шахте им. С.М. Кирова; г) на шахте им. 7 Ноября (АО «СУЭК-Кузбасс»)

изводства будут работать с отклонениями от принятых управленческих решений. Подтверждением этой гипотезы является пример работы предприятий АО «СУЭК-Кузбасс». Работа шахт и разрезов характеризуется (и при сложившемся уровне развития методов организации и управления будет характеризоваться) отклонениями технологических процессов от требований безопасности (рис. 7.3).

Кроме указанного выше риска травм и аварий, на угледобывающем предприятии существует множество других видов рисков, связанных с производственной деятельностью предприятия. Потому возникла необходимость в рамках работы системы обеспечения безопасности производства ввести понятие «производственный риск», характеризующее потенциальный социально-экономический ущерб, в том числе для здоровья работников, в результате наступления негативных событий (травм, аварий, инцидентов и простоев, включая остановки по решению суда).

В отечественной науке и практике хозяйствования предприятий отсутствуют общепризнанные теоретические положения о производственном риске. В литературе существует много подходов к раскрытию сущности этого понятия, но каждый из них отражает лишь ту или иную его сторону. Слабо разработаны методы оценки риска применительно к тем или иным производственным ситуациям и видам деятельности, отсутствуют распространенные практические рекомендации о путях и способах оптимизации уровня риска и предотвращения негативного развития конкретной опасной ситуации. Поэтому важно рассмотреть имеющиеся определения понятия производственного риска.

В исследовании Е.В. Смирновой производственный риск – это производственная ситуация с неопределенным результатом развития, который характеризуется возможностью отклонения параметров производственной ситуации от заданного уровня, что приводит к необходимости предвидения развития ситуации и поиску нетрадиционных решений возникших осложнений [19].

А.В. Мандрыкин предлагает использовать термин «производственный риск» для того, чтобы отделить понятие «риск как центр образования затрат» от понятия «риск как препятствие организации в реализации своих целей». Под производственными рисками он понимает возможность возникновения в производственном процессе (бизнес-процессе) неблагоприят-

ятного сочетания ситуаций и факторов, препятствующих управляемости и развитию организации, и определяет производственные риски как вид рисков, которые возникают в процессе научно-исследовательских и конструкторских разработок (НИОКР), производства, реализации и послереализационного обслуживания продукции (услуг) [12].

По мнению А.Г. Федорца, производственный риск – потенциальный ущерб (в том числе для здоровья работников) в результате наступления нежелательного события, связанного с производственной деятельностью предприятия, определяемый с учетом вероятности наступления этого события. В данном контексте «производственный» означает «связанный с особенностями конкретного производства с учетом применяемой технологии, системы менеджмента, условий труда». Таким образом, понятие «производственный риск» включает в себя все факторы, оказывающие воздействие на работников различных профессий в процессе их трудовой деятельности, и имеет отношение к производству (виду деятельности, предприятию или отрасли в целом) [22].

Понятия «профессиональный риск» и «производственный риск» применительно к понятию «рабочее место» фактически отражают один и тот же предмет, только с различных точек зрения. Если понятие «профессиональный риск» чаще используется с точки зрения работника с целью обеспечения его социальной защищенности (предоставления компенсаций) в связи с наличием на его рабочем месте вредных и опасных производственных факторов и носит пассивный (реактивный) характер, то понятие «производственный риск» отражает точку зрения менеджера, занятого решением проблемы уменьшения или исключения производственных рисков на рабочем месте работника (с целью недопущения ущерба для его здоровья и жизни) и, соответственно, носит проактивный характер [22].

По мнению автора, риск в многосторонних отношениях (личностных, социальных, политических) имеет структуру, состоящую из отдельных изолированных элементов. Причем, у каждого из элементов (фрагментов риска) имеется свой владелец. «Риск, связанный с возможностью нанесения вреда жизни и здоровью работника в процессе трудовой деятельности» имеет, как минимум, трехстороннюю структуру: риск работодателя (корпоративный производственный риск), риск работника (личный профессиональный риск), риск государства (общественный социально-экономический риск) [23].

Именно понимание производственного риска, изложенное в работах А.Г. Федорца [20 – 23], отвечает содержанию данного исследования. Представленные определения позволяют утверждать, что производственный риск на угледобывающем предприятии является следствием выбора решения, направленного на достижение целевого результата хозяйственной деятельности при вероятности получения экономического или любого другого ущерба в силу неопределенности условий реализации того решения.

7.3. Принципы, условия и требования управления производственным риском

Анализ теоретических и практических концепций и методов в области управления рисками, формирования систем управления рисками и т.д., представленных в публикациях отечественных авторов [3, 4, 12, 15, 19, 20 – 23], позволил установить следующие принципы, условия и требования, которые необходимо учитывать при включении функции управления производственным риском в систему обеспечения безопасности производства и последующей ее реализации:

1. Управление рисками становится неотъемлемой частью принятия решения на предприятии, инструментом, но не самостоятельным бизнес-процессом. Смыслом управления рисками является, в первую очередь, интеграция, то есть встраивание в основную деятельность предприятия, в процессы принятия решения на всех уровнях [4].

2. Управление рисками осуществляется на всех уровнях управления предприятия, на постоянной основе, и управлять необходимо всеми видами риска [15].

3. Информационная основа управления рисками должна содержать информацию как о произошедших событиях (ретроспективный анализ), так и о прогнозируемых [4].

4. Оценка уровня риска – это количественная оценка возможного рискованного отклонения целевого показателя с заданной вероятностью в определенный промежуток времени. Уровень риска является целевым и управляемым параметром, величину которого регулирует система управления риском, поэтому на стратегическом уровне управления оценка риска

осуществляется на основе качественных значений (высокий, средний, низкий), на оперативном уровне управления – на основе количественных показателей. На средних и нижних уровнях управления количественные показатели риска могут строиться на основе оценки возможных отклонений производственных, технических, социальных показателей, однако на верхнем уровне они должны непременно трансформироваться в показатели стоимостные. Количественный показатель риска на верхнем уровне управления предприятием – это стоимостная оценка максимально допустимых финансово-экономических потерь с заданной вероятностью в определенный промежуток времени [12].

5. Построение системы управления рисками направлено не на устранение факторов риска, а на создание механизма, способного обеспечить эффективное ведение деятельности организационно-производственной системы в условиях неопределенности, обусловленной высокой динамичной среды.

6. Риска «вообще» быть не может. Риск возникает в результате взаимоотношения двух или более сторон социальных отношений, состоящих в условиях взаимной зависимости или в состоянии подчинения. Поэтому риск имеет структуру: профессиональный (личный), производственный (корпоративный) и социально-экономический (государственный) риск. Каждый элемент может оцениваться и управляться только одной стороной – «владельцем» этого риска, то есть работником, работодателем (организацией) или государством. Таким образом, у каждого идентифицированного «риска» есть владелец, и притом – только один; каждым риском может управлять только его владелец; невозможно управлять «чужим риском» (например, «работодатель» принципиально не в состоянии управлять «профессиональным риском работника»); если в отношении некоторого идентифицированного риска проявляют интерес несколько лиц, то, на самом деле, здесь мы имеем несколько (по числу заинтересованных сторон-владельцев риска) отдельных, совершенно различных (неаддитивных) рисков, у каждого из которых есть свой владелец. Понятия «производственный риск» (работодателя) и «профессиональный риск» (работника) различны – по проявлению, по величине, по мерам управления, что не исключает наличия между этими рисками корреляционной связи [23].

7. Если управление рисками технических систем осуществляется в основном техническими мерами (резервирование, дублирование, объективная диагностика технического состояния, планово-предупредительные ремонты и др.), то в сфере управления профессиональными рисками центр тяжести всей деятельности приходится на организационные меры, управление персоналом. В противоположность этому, в системах оценки и управления производственными рисками практически все несчастные случаи происходят по причине, именуемой «человеческим фактором»: некомпетентность, ошибочные действия и ошибочные решения, легкомыслие и неосторожность, недисциплинированность. Наибольший вклад (по мнению У. Э. Деминга – до 98%) в потери организации, которые организация в силах предотвратить, вносит система менеджмента организации. При этом вклад рисков, обусловленных случайными отказами и поломками технических средств, находится, как правило, на уровне нескольких процентов (чем можно пренебречь) [23].

8. Основы управления производственным риском закладываются на любом предприятии исходя из взглядов руководства на риск в деятельности этого предприятия. Взгляды руководства (концепция) проецируются в философию управления риском (принципы), которая представляет собой свод правил и действий при принятии решений, касающихся риска. Философию управления производственным риском можно рассматривать с двух позиций. Во-первых, в статике, что позволяет говорить о системе управления производственным риском. Во-вторых, в динамике, что определяет процесс управления производственным риском. Здесь закладывается практикуемая на предприятии система мотивации принятия риска работниками этого предприятия. В рамках этой системы происходит побуждение к действиям, влекущим риск, либо к действиям, в процессе которых происходит уход от риска [19].

Изучение подходов к управлению риском травм и аварий на угледобывающих предприятиях показало, что модель управления риском определяется на основе модели обеспечения безопасности производства. В связи с этим возникла необходимость исследовать модели обеспечения безопасности производства на угледобывающих предприятиях в разные периоды их функционирования: в плановой экономике, в переходный период и в рыночных условиях. Проведенные исследования позволили типизи-

ровать модели обеспечения безопасности производства – с точки зрения управления риском – и обобщить результаты их применения (табл. 4).

На отечественных угледобывающих предприятиях в условиях плановой экономики применялась дотационная модель обеспечения безопасности производства, в переходный период – кризисная, основой которых является управление риском травм и аварий (табл. 4, первые две модели). Переход от дотационной к кризисной модели произошел из-за острой необходимости угледобывающих предприятий выживать в условиях резкой и кардинальной смены социально-экономического устройства государства, практически полной неопределенности и разрыва хозяйственных связей предприятий.

Переход от кризисной модели к инвестиционной состоялся благодаря ликвидации нерентабельных угольных шахт и шахт, опасных по условиям, осуществленной в ходе реструктуризации угольной отрасли, и обусловлен организационными и технологическими преобразованиями, проведенными на угольных предприятиях в соответствии с требованиями законодательства и изменившимися условиями внешней среды их функционирования. Со второго десятилетия двухтысячных годов в условиях рыночной экономики, характеризующейся высокой динамикой среды, отечественные угольные компании (например, АО «СУЭК») приступили к освоению инвестиционной модели, в основе которой лежит управление производственным риском (табл. 7.4, третья модель) [1, 2, 7, 11, 13, 17].

В рамках функционирования первых двух моделей обеспечения безопасности проблема производственного конфликта не может быть решена. Но даже и на более высоком уровне эффективности функционирования угледобывающих предприятий производственный конфликт сохраняется. Более того, обеспечение безопасности производства при непрерывном и значительном наращивании его эффективности неизбежно сопровождается усилением конфликта. Именно низкая результативность применяемых моделей обеспечения безопасности обуславливает необходимость формирования модели управления риском, которая позволит обеспечивать приемлемый уровень риска травм и аварий при непрерывном наращивании интенсивности ведения горных работ в условиях динамичной внешней и внутренней среды, и применение которой станет реальным, значимым конкурентным преимуществом угледобывающего предприятия (компании).

Таблица 7.4 – Модели обеспечения безопасности производства

Параметр	Модель		
	Договорная	Кризисная	Инвестиционная
Целевая установка	Затраты (З) на обеспечение безопасных условий труда, необходимые для соответствующих объемов производства	Частичный отказ от затрат на безопасность, необходимый для «выживания» предприятия	Инвестирование (И) в обеспечение безопасности (Б), необходимой для обеспечения эффективности производства (Э)
Графическое представление	<p>Эффективность</p> <p>Безопасность</p> <p>Сбалансированный уровень Э и Б в условиях полной экономии</p> <p>Уровень эффективности</p> <p>Уровень безопасности</p> <p>Затраты на безопасность</p> <p>Э'</p> <p>Б'</p> <p>З'</p>	<p>Эффективность</p> <p>Безопасность</p> <p>Разбалансированные уровни Э и Б в переходный период</p> <p>Уровень эффективности</p> <p>Уровень безопасности</p> <p>Затраты на безопасность</p> <p>Э'</p> <p>Б'</p> <p>З'</p>	<p>Эффективность</p> <p>Безопасность</p> <p>Сбалансированный уровень Э и Б в условиях рынка</p> <p>Уровень эффективности</p> <p>Уровень безопасности</p> <p>Затраты и инвестиции в безопасность</p> <p>Э'</p> <p>Б'</p> <p>З'</p> <p>З''</p> <p>З'''</p>
Характеристика производственного конфликта	Потенциальный производственный конфликт «производительность ↔ безопасность»; проявление конфликта – латентное; состояние конфликта – слабое	Неконтролируемый реализовавшийся производственный конфликт «эффективность ↔ безопасность»; проявление конфликта – явное; состояние конфликта – сильное (острое)	Контролируемый (устраиваемый) производственный конфликт «эффективность ↔ безопасность»; проявление конфликта – латентное, явное; состояние конфликта – ослабленное контролем
Основной фактор риска	Нарушения требований безопасности, подпадающего контролю	Устойчиво повторяющиеся нарушения требований безопасности, не подпадающего контролю	Опасные производственные ситуации, подпадающие контролю
Объект контроля	Соблюдение правил безопасности	Соблюдение основных правил безопасности, нарушение которых ведет к прямой угрозе жизни и здоровью людей	<ul style="list-style-type: none"> Соблюдение правил безопасности; Повторяющиеся нарушения требований безопасности; Опасные производственные ситуации

Анализ результатов работы угледобывающих предприятий показывает, что их устойчивая работа при развивающемся производственном конфликте невозможна [5]. Следовательно, для обеспечения конкурентных преимуществ предприятия в динамичной среде требуется, в первую очередь, устранить или смягчить производственный конфликт, то есть убрать или локализовать противоречие между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Решение этой задачи возможно в рамках функционирования инвестиционной модели обеспечения безопасности.

Механизмом решения данной задачи, то есть средством реализации модели, является контроль опасных производственных ситуаций. Именно это преимущество обусловило использование инвестиционной модели обеспечения безопасности в рамках разрабатываемой концепции управления производственным риском. Для устранения производственного конфликта модель управления риском целесообразно формировать, основываясь на следующей логике (табл. 7.5).

Таблица 7.5 – Логическая модель управления риском

Характеристика	Сущность
Объект управления	Производственный риск
Основной механизм	Прогноз, предотвращение/выявление, контроль/устранение опасной производственной ситуации – сочетания факторов и обстоятельств в деятельности предприятия, участка, вызывающего закономерное нарастание вероятности негативного события (травмы, аварии, инцидента)
Социально-экономическая сущность	Сглаживание / устранение производственного конфликта
Изменения в деятельности персонала по обеспечению безопасности	1. Повысить заинтересованность в бесконфликтной работе всех участников производственной и обслуживающих групп персонала предприятия. 2. Увеличить вовлеченность персонала производственной группы в обеспечение безопасных условий труда (производства)
Изменение в функционировании системы обеспечения безопасности производства	Интеграция деятельности по обеспечению безопасности в производственную деятельность
Результат функционирования системы обеспечения безопасности производства	Достижение приемлемого уровня производственного риска – такого состояния опасных производственных ситуаций, которое поддается контролю известными, имеющимися и освоенными способами и средствами

Применение этой модели управления риском на горнодобывающем предприятии позволяет обеспечивать приемлемый уровень риска травм и аварий при непрерывном наращивании интенсивности ведения горных работ в условиях динамичной внешней и внутренней среды, что является реальным, значимым конкурентным преимуществом горнодобывающего предприятия (компании).

7.4. Понятие опасной производственной ситуации и ее роль в системе обеспечения безопасности производства

Формирование результативной системы обеспечения безопасности производства и управление производственным риском неразрывно связаны с понятием опасной производственной ситуации. Это достаточно новый термин в области безопасности, поэтому целесообразно раскрыть его суть, основные аспекты и характеристики возникновения и существования опасных производственных ситуаций, их влияние на возникновение опасностей и повышение уровня риска на угледобывающем предприятии.

Опасная производственная ситуация (ОПС) – это комбинация факторов и обстоятельств, которая препятствует выполнению производственного задания в установленные сроки: вынуждает работников отклоняться от регламентов, правил и инструкций и повышает риск возникновения негативного события [10, 11]. Одним из основных признаков развития ОПС является как сам факт отклонения параметров геомеханических, гидрологических, горнотехнических, технологических и организационных факторов от их рациональных значений, так и скорость нарастания этих отклонений.

Опасная производственная ситуация обусловлена переходом производственного конфликта в активную стадию: когда столкновение противоречивых задач обеспечения эффективности и безопасности при организации и осуществлении производственной деятельности переходит из потенциального в реализовавшееся состояние.

Опасная производственная ситуация имеет несколько стадий существования: зарождение, развитие, реализация в аварию или травму [2, 8, 10, 11, 14]. Знание закономерностей возникновения и развития опасных производственных ситуаций позволяет осуществлять стратегическое управление производственным риском.

Проведенный анализ показал, что зарождение, развитие и реализация опасной производственной ситуации происходят на разных уровнях (стадиях) конфликта между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Применение классических подходов конфликтологии и значения вероятности возникновения производственного конфликта позволяют выделить три основных типа взаимодействия производственных структур: конфликтное, компромиссное и комплементарное. Рассмотренные модели взаимодействия представлены на рис. 7.4.

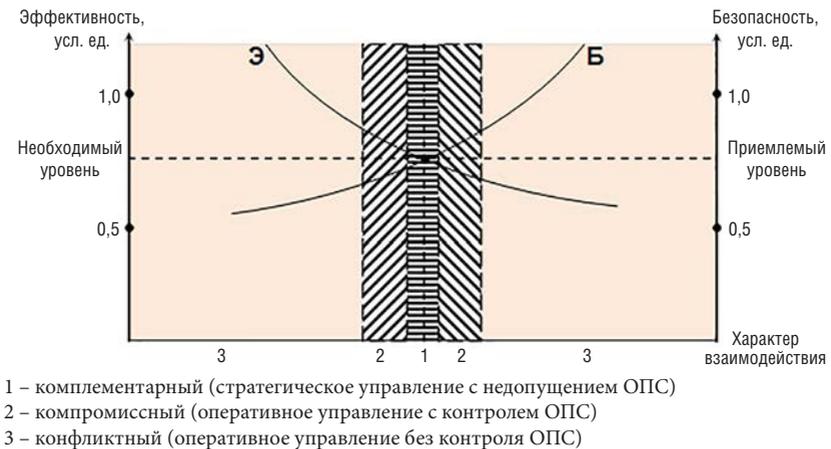


Рис. 7.4 – Уровни взаимодействия между эффективностью и безопасностью производственного процесса

Механизм перевода состояний взаимодействия из одного в другое требует дальнейшего тщательного изучения условий взаимодействия задач обеспечения эффективности и безопасности производства. Но уже на данном этапе исследований очевидна целесообразность применения дифференцированного подхода к управлению производственным риском – на стратегическом и оперативном уровнях. Это позволяет, соответственно, предотвращать возникновение потенциальных ОПС в процессе производственного планирования и контролировать уже возникшие ОПС в ходе осуществления производственной деятельности.

Предлагаемая концепция управления производственным конфликтом позволяет предложить методический подход к его смягчению: расширение зон комплементарного и компромиссного взаимодействия (рис. 7.5).

При этом расширение компромиссной зоны достигается путем оперативного управления производственным риском на основе контроля выявляемых ОПС, а расширение комплементарной зоны – путем стратегического управления производственным риском на основе предотвращения возникновения ОПС в процессе долгосрочного производственного планирования.

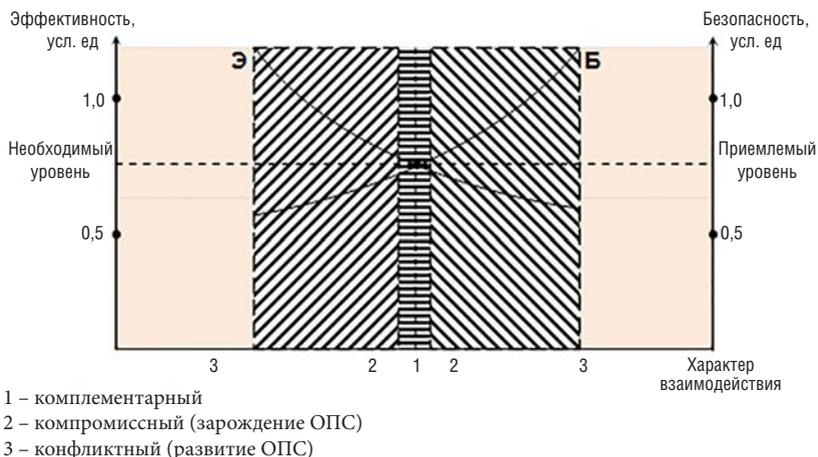


Рис. 7.5 – Предлагаемый вариант управления типами взаимодействия организационных подсистем производственного процесса

Первый подход реализуется через освоение на предприятии эффективных методов диагностики и контроля ОПС и эффективной системы мотивации безопасной работы. Второй подход – путем совершенствования работы службы ОТ и ПК, широким вовлечением производственного персонала в деятельность по обеспечению безопасности производственного процесса, перехода на работу по стандартам и внедрение почасовой оплаты труда.

Выше говорилось, что жизненный цикл опасной производственной ситуации имеет выраженные стадии: зарождение, развитие, предреализация (кризисное состояние) [10, 11]. Распределения, построенные на основе статистических данных АО «СУЭК-Кузбасс», на которых представлены предприятия с открытой, подземной и комбинированной технологией добычи, а также данных анализа причин и обстоятельств несчастных случа-

ев и аварий на предприятиях компании с точки зрения зарождения, развития и реализации ОПС, позволили установить временные характеристики этих стадий. Согласно выполненным исследованиям, самыми продолжительными периодами в развитии опасной производственной ситуации оказались зарождение и собственно развитие, самым коротким – реализация. Соответственно, наиболее низкие скорости развития ОПС наблюдаются на стадии зарождения, наиболее высокие – на стадии реализации.

Анализ причин и обстоятельств несчастных случаев и аварий на горнодобывающих предприятиях с точки зрения зарождения, развития и реализации ОПС показал, что время зарождения опасной производственной ситуации составляет от нескольких лет до нескольких месяцев, развития – от нескольких месяцев до нескольких часов, реализации – от нескольких часов до нескольких минут, а, зачастую, и секунд. То есть, скорость развития ОПС, под которой понимается величина изменения риска в единицу времени, определяет требования к структуре и методам работы системы обеспечения безопасности. Для корректного контроля наращивания скорости развития ОПС на любом промежутке времени (технологическая операция, технологический цикл, смена, сутки, неделя, месяц, год) средства измерения скорости должны обеспечивать реакцию на интервале не больше минуты.

Целевой функцией системы обеспечения безопасности производства является минимизация риска возникновения негативных событий. При реализации целевой функции на каждой стадии существования ОПС работает ограничение по скорости. Под скоростью развития ОПС понимается величина изменения риска в единицу времени; под скоростью реакции системы обеспечения безопасности – снижение величины производственного риска в единицу времени, то есть времени реализации управленческих действий по снижению риска до приемлемого уровня (выявление, оценка и прогноз развития ОПС, выработка и реализация решений по ее устранению).

На стадии зарождения ОПС скорость ее развития ниже скорости реакции системы обеспечения безопасности. Это означает, что возникают опасные факторы и формируются опасные обстоятельства, но производственный риск находится под контролем и растет незначительно. На стадии развития скорость формирования ОПС значительно возрастает

по сравнению со скоростью реакции системы обеспечения безопасности производства, но, тем не менее, скорость реакции системы равна или превышает скорость развития ОПС. На практике это означает, что сформирована совокупность опасных факторов и обстоятельств, которая поддается контролю со стороны СОБП через контроль и сокращение количества повторов нарушений требований безопасности.

На стадии реализации, скорости развития ОПС и реакции СОБ стремятся к своим максимальным значениям, но скорость реакции СОБП значительно меньше. Это выражается в том, что совокупность опасных факторов и обстоятельств не поддается контролю, риск достигает максимального значения и возникает негативное событие (табл. 5).

Таблица 7.6 – Модель управления производственным риском в системе обеспечения безопасности производства [10]

Параметр	Стадия ОПС		
	Зарождение	Развитие	Кризис
Целевая функция СОБП	$R \rightarrow \min$		
Значения риска	$R \in [1;100]$	$R \in [101;100000]$	$R \in [100001;1000000]$
Механизм развития ОПС	$\sum_{i=1}^m \Phi_i^t$	$\sum_{i=1}^m \Phi_i^t \rightarrow$ $\rightarrow \sum_{j=1}^n N_{повт. j}^{t+1}$	$\sum_{i,j=1}^{m,n} (\Phi_i^t, N_{повт. j}^t) \rightarrow$ $\rightarrow K_{крит.}^{t+1}$
Условие управления	$\sum_{i=1}^m \Phi_i^t \geq \sum_{i=1}^m \Phi_i^{t+1}$	$\sum_{i=1}^m \Phi_i^t = \sum_{i=1}^m \Phi_i^{t+1}$ $\sum_{j=1}^n N_{повт. j}^t \geq$ $\geq \sum_{j=1}^n N_{повт. j}^{t+1}$	$\sum_{i,j=1}^{m,n} (\Phi_i^t, N_{повт. j}^t) \geq$ $\geq \sum_{i,j=1}^{m,n} (\Phi_i^{t+1}, N_{повт. j}^{t+1})$ $K_{крит.}^{t+1} \rightarrow 0$
Ограничение по скорости	$V_{опс} \rightarrow \min,$ $V_{собп} \rightarrow \min$ $V_{опс} \ll V_{собп}$	$V_{опс} \uparrow \uparrow,$ $V_{собп} \uparrow$ $V_{опс} \leq V_{суотыль}$	$V_{опс} \rightarrow \max,$ $V_{собп} \rightarrow \max$ $V_{опс} > V_{собп}$

Условные обозначения: Φ_i^t – факторы и обстоятельства в t-й момент времени; i – количество факторов, от 1 до m ; $N_{повт. j}^t$ – количество нарушений в t-й момент времени; j – количество нарушений требований безопасности, от 1 до n ; $K_{крит.}^t$ – критическая комбинация факторов и обстоятельств в t-й момент времени; $V_{опс}$ – скорость развития опасной производствен-

ной ситуации; $V_{СОБП}$ – скорость реакции системы управления охраной труда и промышленной безопасностью.

Исходя из изложенного, важнейшая задача, которую необходимо решать в рамках функционирования системы обеспечения безопасности производства – предотвращение ОПС, а при их наличии, – недопущение развития ОПС до стадии реализации.

7.5. Реализация модели управления производственным риском

Основным механизмом реализации предложенной модели является контроль опасной производственной ситуации. Но в связи с тем, что нарушения требований безопасности делятся на несколько типов по частоте их возникновения (и каждый тип нарушений обусловлен разными причинами, устранение которых также осуществляется разными методами), то полнота реализации предложенной модели управления производственным риском обеспечивается посредством применения следующих взаимосвязанных методов:

- проведения поведенческих аудитов безопасности;
- выявления и устранения повторяющихся нарушений требований безопасности;
- фиксации и контроля опасных производственных ситуаций и их стадий развития с целью недопущения аварий и травм (табл. 7.7).

Каждый из предложенных методов имеет свои достоинства и нацелен на получение определенного результата.

Проведение поведенческого аудита безопасности (ПАБ) является методом контроля применения персоналом предприятий безопасных приемов и методов работы. Данный метод широко распространен за рубежом, но его реализация на отечественных предприятиях, в том числе горнодобывающих, недостаточно эффективна. Это обусловлено тем, что метод, предложенный фирмой «Дюпон» (Du Pont), рассчитан на более высокий уровень организации производства: корректировка поведения людей эффективна в том случае, когда созданы условия для безопасной работы. В таком случае, если и возникают опасные ситуации, то, в основном, из-за небезопасного поведения людей.

Таблица 7.4 – Модели обеспечения безопасности производства

Характеристика	Тип		
	Редкие	Часть	Постоянные
Вероятность возникновения	→ 0	≈ 0,5	→ 1
Причина возникновения	Психологическое состояние (человеческий фактор)	Низкая дисциплина и квалификация	Неудовлетворительная организация производственных процессов
Объект контроля	Нарушения требований безопасности	Повторы нарушений требований безопасности	Опасная производственная ситуация
Способ контроля	Поведенческий аудит безопасности	Анализ статистических данных	Анализ предписаний, анализ причин негативных событий
Достоинства (результаты применения) способа контроля	<p>Формируется поведение работника, адекватное текущей производственной ситуации – как в относительно безопасных условиях, так и в ОПС.</p> <p>Моделируется опасная ситуация и определяются безопасные приемы труда в этой ситуации.</p> <p>Формируется мотивация работника на безопасный труд.</p> <p>Происходит вовлечение большого количества работников в создание безопасных условий труда.</p> <p>Накапливается первичная информация об опасных ситуациях, свойственных производственному процессу и конкретному рабочему месту</p>	<p>Фактическое состояние промышленности безопасности и охраны труда на рабочих местах и результаты выполнения личных обязательств и планов проверяются ежемесячно.</p> <p>Через месячный план работ контролируется деятельность работников участка по устранению нарушений, а через реестр рисков (перечень повторяющихся нарушений, причины которых приняты к устранению) – результат их устранения</p>	<p>Минимизируются затраты по недопущению (устранению) ОПС путем их ликвидации на более ранних стадиях развития.</p> <p>Осуществляется точечное, адресное (более рациональное) распределение материальных, трудовых и иных видов ресурсов, поскольку ликвидируются ключевые факторы и обстоятельства ОПС.</p> <p>Включение действий по устранению ОПС в производственный план, формируемый на уровне главного инженера и директора позволяет привлечь более значительные ресурсы, чем на уровне производственного участка.</p> <p>Повышается уровень организации (организованности) производственного процесса</p>

На отечественных предприятиях производственный процесс сопровождается опасными ситуациями, возникающими из-за неудовлетворительной организации и технологии работ. Следовательно, пока на российских предприятиях проведение ПАБ дает только временный локальный результат, а не постоянный системный.

Тем не менее, освоение данного метода целесообразно, поскольку:

- формируется (воспитывается) поведение работника, адекватное текущей производственной ситуации, – как в относительно безопасных условиях, так и в опасных производственных ситуациях;

- моделируется (в ходе беседы с работником) опасная ситуация и определяются безопасные приемы труда в этой ситуации;

- формируется мотивация работника на безопасный труд;

- происходит вовлечение большого количества работников в создание безопасных условий труда;

- результаты ПАБ являются первичной информацией об опасных ситуациях, свойственных производственному процессу и конкретному рабочему месту.

Устранение повторяющихся нарушений требований безопасности, которые являются следствием дефектов систем предприятия, осуществляется с применением дифференцированного подхода [7].

Сначала из списка всех нарушений требований безопасности выделяются повторяющиеся нарушения; затем они разделяются на легко- и трудноустраняемые; трудноустраняемые, в свою очередь, распределяются на критические, опасные и условно неопасные. После этого устанавливаются и анализируются причины нарушений, выявляется их повторяемость, определяются пути устранения этих причин. Таким образом, предложенный механизм направлен именно на выявление и устранение причин повторяющихся нарушений требований безопасности, а не только на обнаружение нарушений, тем более что эта функция уже осуществляется в рамках действующего механизма производственного контроля (рис. 7.6).

Согласно блок-схеме, в первую очередь будут устраняться причины повторений всех легкоустраняемых нарушений требований безопасности и критических трудноустраняемых нарушений. Аргументация такова: если нарушения относятся к легкоустраняемым (не требуют дополнительных материальных ресурсов, времени, людей), их надо устранить и не допу-



Рисунок 7.6 – Блок-схема механизма устранения повторяющихся нарушений требований безопасности [7]

скать повторений. Из категории трудноустраняемых нарушений (требуются дополнительные ресурсы) необходимо в первую очередь устранить особо опасные, критические нарушения, так как они могут привести к тяжелейшим последствиям: тяжелой, смертельной травме, аварии с групповым несчастным случаем.

Работу предполагается выполнять циклами: устранение группы повторяющихся нарушений – закрепление состояния «невозврата» к этим нарушениям – запуск следующего цикла. Логика осуществления действий внутри этих циклов: от легкоустраняемых к трудноустраняемым, от критических – к условно неопасным нарушениям требований безопасности.

Выявление повторов нарушений требований безопасности осуществляется на основе статистических данных. В АО «СУЭК-Кузбасс» для этих целей используется программа «Единая книга предписаний и формирования сменных нарядов» (ЕКП и ФСН). Выявленные повторяющиеся

нарушения требований безопасности ежемесячно оформляются в перечни повторяющихся нарушений, причины которых приняты к устранению («реестры рисков») для каждого участка: подготовительного, очистного, ВШТ. На основе этих перечней составляется месячный план работы участка по устранению причин повторяющихся нарушений. По результатам выполнения (невыполнения) плана работ участковый реестр рисков пересматривается.

Через планы работ (сведения об их выполнении содержатся в книге нарядов) контролируется деятельность работников участка по устранению нарушений, а через реестр рисков – результат их устранения. Фактическое состояние промышленной безопасности и охраны труда на рабочих местах и результаты выполнения личных обязательств и планов проверяются ежемесячно в ходе целевых проверок отдела производственного контроля.

Анализ работы, проделанной в 2013 – 2014 гг. на угледобывающих предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс» в рамках данного направления, показывает, что за рассматриваемый период риск возникновения негативного события снизился в 1,8 раза, в большей мере за счет повышения оперативности и качества устранения нарушений требований безопасности (рис. 7.7, табл. 7.8).

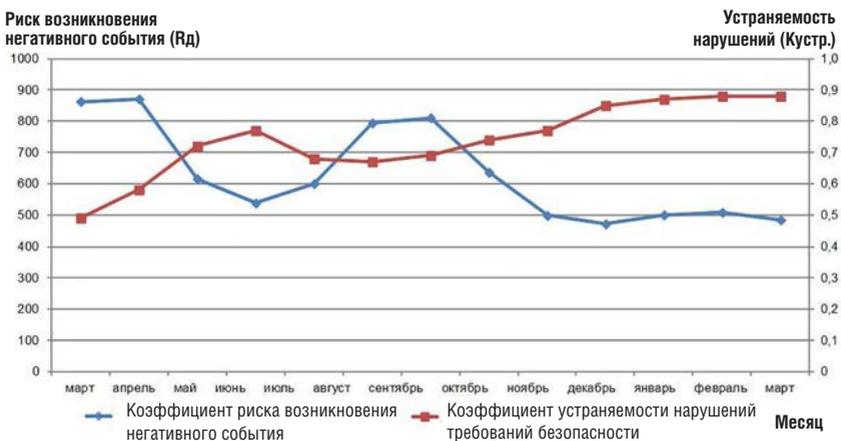


Рисунок 7.7 – Динамика риска возникновения негативного события и устранимости нарушений требований безопасности на угледобывающих предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Таблица 7.8 – Динамика коэффициента устраняемости нарушений требований безопасности в ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Предприятие	Коэффициент устраняемости, $K_{устр} = \frac{N_{устр}}{N^e} \cdot K_n$														
	2013 г.											2014 г.			
	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	среднее	январь	февраль	март	среднее
шахта Кирова	0,68	0,83	0,79	0,79	0,77	0,78	0,73	0,82	0,86	0,89	0,79	0,91	0,96	0,94	0,94
шахта 7 Ноября	0,59	0,72	0,87	0,89	0,87	0,86	0,89	0,88	0,89	0,89	0,84	0,83	0,83	0,79	0,82
Шахта Комсомолец	0,58	0,82	0,76	0,94	0,87	0,78	0,76	0,9	0,83	0,93	0,81	0,78	0,86	0,91	0,85
Шахта Полысаевская	0,77	0,8	0,8	0,83	0,82	0,85	0,81	0,68	0,83	0,88	0,81	0,89	0,9	0,91	0,9
Шахта А.Д. Рубана	0,8	0,8	0,79	0,74	0,76	0,73	0,74	0,75	0,85	0,88	0,78	0,87	0,91	0,9	0,89
Талдинская-Зап. 1	0,34	0,31	0,67	0,73	0,39	0,42	0,38	0,63	0,81	0,83	0,55	0,89	0,87	0,9	0,89
Талдинская-Зап. 2	0,31	0,41	0,6	0,65	0,36	0,37	0,28	0,78	0,82	0,91	0,55	0,88	0,84	0,83	0,85
Шахта №7	0,54	0,47	0,7	0,67	0,64	0,63	0,54	0,59	0,8	0,8	0,64	0,82	0,77	0,8	0,8
Шахта Котинская	0,28	0,49	0,73	0,87	0,65	0,83	0,71	0,72	0,77	0,89	0,69	0,85	0,83	0,83	0,84
Разрез Заречный	0,2	0,37	0,67	0,71	0,5	0,78	0,84	0,92	0,81	0,77	0,66	0,89	0,92	0,93	0,91
Разрез Майский	0,44	0,47	0,52	0,71	0,77	0,74	0,7	0,84	0,89	0,87	0,7	0,89	0,89	0,89	0,89
Разрез Камышанский	0,37	0,44	0,74	0,7	0,71	0,7	0,8	0,87	0,8	0,86	0,7	0,86	0,89	0,88	0,88
Итого	0,49	0,58	0,72	0,77	0,68	0,67	0,69	0,74	0,77	0,85	0,7	0,87	0,88	0,88	0,88

- критический (Кустр < 0,6)
- пониженный (0,6 ≤ Кустр < 0,9)
- нормальный (Кустр ≥ 0,9)

Выявление и устранение опасных производственных ситуаций (ОПС), а также интегрирование действий по устранению этих ситуаций в систему производственного планирования является методом повышения уровня организации (организованности) производственного процесса.

Контроль опасных производственных ситуаций подразумевает недопущение критической комбинации нарушений требований безопасности, вследствие которой происходят несчастные случаи. Таким образом, контроль опасных производственных ситуаций позволяет не допустить травмы и аварии даже при наличии отдельных нарушений требований безопасности.

Выявление ОПС осуществляется на основе анализа данных, полученных в ходе наблюдений. При этом в ходе наблюдений определяется текущая стадия развития опасной ситуации, а затем моделируется ОПС в целом, то есть выявляются все этапы зарождения и развития опасной производственной ситуации [2, 10]. Стадия реализации может быть спрогнозирована как на основе негативных событий, случившихся на шахте ранее, так и логическим путем (табл. 7.9).

Таблица 7.9 – Выявление факторов и обстоятельств опасной производственной ситуации и установление стадии ее развития на шахте «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» (фрагмент)³

Объект	ОПС	Стадия ОПС*		
		Зарождение	Развитие	Реализация
Конвейерный штрек 17-47	Эксплуатация неисправного ленточного конвейера, оборудованного для перевозки людей	Подвеска кабеля с нарушением требований промышленной безопасности	Неисправно освещение на ленточном конвейере	
		Недостаточная прочность конструкции	Интенсивное передвижение людей	
		Неисправность роликов ленточного конвейера, трение ленточного полотна	Износ ленточного полотна	

*Обозначение опасных факторов и обстоятельств: выявленные (результат наблюдения) и скрытые (смоделированные)

На основе данных об опасной производственной ситуации старший надзор шахты определяет мероприятия по ее устранению и требуемый объем ресурсов. Работы по устранению ОПС планируются через форму «дорожная карта» (рис. 7.8).

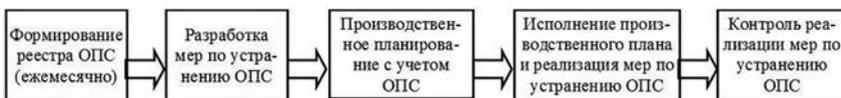


Рисунок 7.8 – Основные этапы контроля и устранения опасных производственных ситуаций

Достоинствами данного метода – выявления, контроля и устранения ОПС – являются:

- сочетание статистического и аналитического способов получения информации;
- возможность минимизировать затраты по недопущению (устранению) ОПС путем их ликвидации на более ранних стадиях развития;
- точечное, адресное (более рациональное) распределение материальных, трудовых и иных видов ресурсов, поскольку ликвидируются ключевые факторы и обстоятельства ОПС;

³ Методическое, консультационное, информационное и организационное сопровождение освоения в системе производственного контроля методов управления рисками: Отчет по результатам совместной работы в 2015 г. /ОАО «СУЭК-Кузбасс», ООО «ТЦ «Организация и Управление». – Ленинск-Кузнецкий; Челябинск, 2016. – 45 с.

– включение действий по устранению ОПС в производственный план, формируемый на уровне главного инженера и директора, позволяет привлечь более значительные ресурсы, чем на уровне производственного участка.

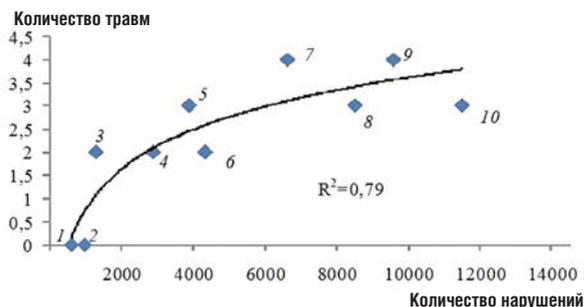
Для надежного обеспечения безопасности производства необходимо своевременное распознавание опасных производственных ситуаций и обеспечение контроля над ними. Освоение с 2015 г. подхода к управлению производственным риском, основанного на контроле опасных производственных ситуаций, позволило руководителям и специалистам шахты им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс») добиться того, что с марта 2016 г. ни одна из зарегистрированных и контролируемых ОПС не находится на стадии реализации (не достигает критического уровня риска). Это означает, что вероятность возникновения негативного события (травмы, аварии, инцидента) вследствие реализации опасной производственной ситуации незначительна (рис. 7.9).



Рисунок 7.9 – Динамика стадий жизненного цикла ОПС на шахте им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»)

Анализ показал, что до 2014 г. нарушения с большой степенью вероятности ($R2 = 0,79$) реализовались в несчастные случаи. Установление контроля за ОПС позволило значительно снизить значение корреляционного отношения ($R2 = 0,19$), что свидетельствует о том, что многочисленные опасные производственные ситуации контролируются достаточно эффективно: они выявляются и в рамках производственного планирования устраняются или локализуются (рис. 7.10, а, б).

а) 2009 – 2014 гг.



б) 2015 – 2017 гг.

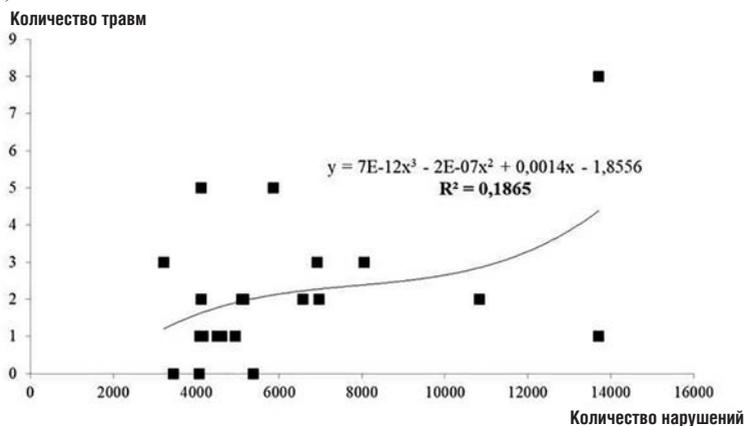
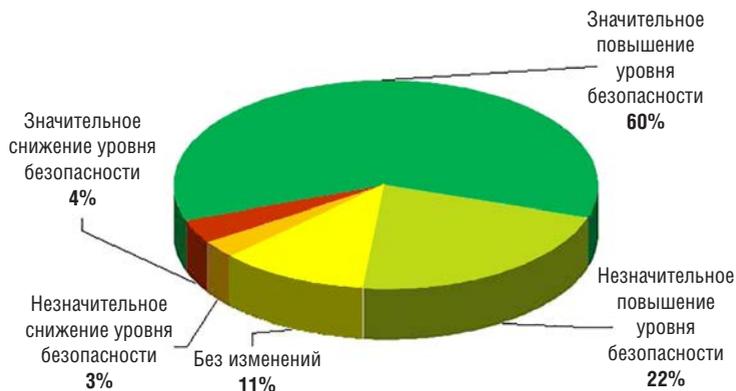


Рисунок 7.10 – Зависимость количества несчастных случаев от количества нарушений требований безопасности (на примере угольных предприятий АО «СУЭК-Кузбасс»)

Значительное повышение уровня безопасности производства, зафиксированное с помощью статистических распределений, подтверждают результаты опроса работников предприятий АО «СУЭК-Кузбасс». В ходе анкетирования работников компании (в опросе участвовал 491 человек) установлено: более половины из них считают, что применяемые методы – выявление, устранение и контроль повторяющихся нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций – значитель-

но повышают и уровень безопасности, и результативность работы служб производственного контроля, непосредственно задействованных в управлении риском (рис. 7.11)

а)



б)

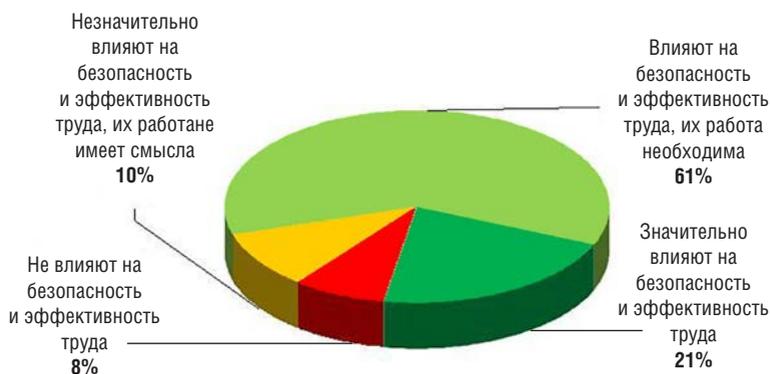


Рисунок 7.11 – Оценка работниками АО «СУЭК-Кузбасс» изменений в области обеспечения безопасности: а) уровня безопасности рабочего места; б) результативности производственного контроля на предприятии (работников служб ПК и ОТ, ВТБ и старшего надзора)

Еще одним важным свидетельством результативности управления производственным риском на основе контроля опасных производственных ситуаций стали результаты опроса руководителей и специалистов компании «СУЭК», проведенного на семинарах в 2018 г. Опрос был посвящен пользе (результативности) и освоенности инструментов обеспечения

безопасности на предприятиях компании – как традиционных (методы, регламентированные в законодательных и иных государственных требованиях по обеспечению охраны труда и промышленной безопасности), так и корпоративных (методы обеспечения безопасности, доказавшие свою эффективность на отечественных и зарубежных предприятиях и реализуемые в данный момент АО «СУЭК»).

Результаты опроса показали: по мнению специалистов компании, полезность перечисленных инструментов явно превышает уровень их использования. Причем и полезность, и освоенность традиционных методов обеспечения безопасности (соблюдение правил технической эксплуатации, функционирование нарядной системы, соблюдение технических регламентов) оценены выше, чем корпоративных.

Поэтому очень важен факт, что выявление, контроль и устранение опасных производственных ситуаций были отнесены в группу наиболее освоенных инструментов обеспечения безопасности, тогда как корпоративные инструменты, такие как поведенческие аудиты безопасности и повышение качества трудовых процессов, оценены как слабо освоенные (рис. 7.12).

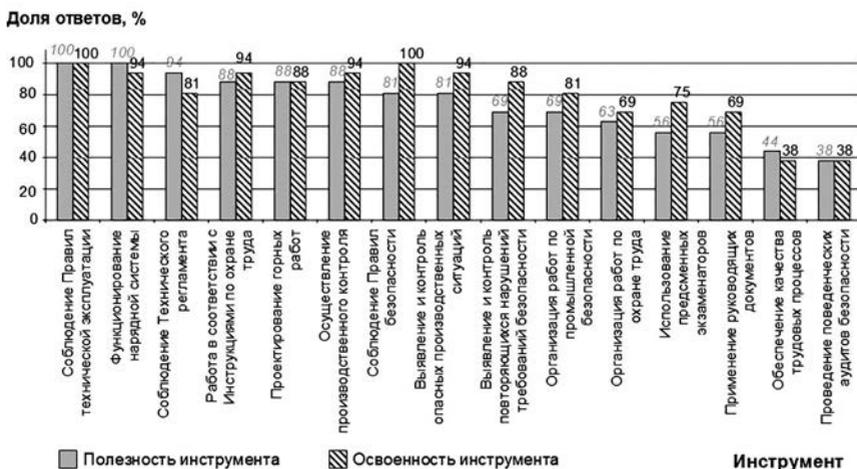


Рисунок 7.12 – Оценка использования в АО «СУЭК» инструментов обеспечения безопасности заместителями директоров по ОТ и ПК производственных единиц АО «СУЭК» (2018 г.)

Проведенные исследования показали, что введение опасной производственной ситуации как объекта контроля и соответствующей функции контроля ОПС в систему обеспечения безопасности производства способствовало вовлечению в эту деятельность работников практически всех уровней управления предприятием – от директора до горного мастера. Динамика вовлечения персонала в работу по выявлению и устранению ОПС представлена на примере разреза «Черногорский» (ООО «СУЭК-Хакасия») (табл. 7.10).

Таблица 7.10 – Вовлечение персонала разреза «Черногорский» в работу по контролю опасных производственных ситуаций [16]

Уровень управления	Год		
	2015	2016	2017
Директор разреза	•	•	•
Зам. директора разреза	•	•	•
Главные специалисты		•	•
Начальники участков	•	•	•
Зам. начальников участков		•	•
Операционный персонал			•

Участие персонала в данной работе позволило, во-первых, улучшить выявляемость опасных производственных ситуаций, а во-вторых, повысить качество их выявления: контролировать стали более «значимые» ОПС, характеризующиеся высоким уровнем риска

Таким образом, контроль опасных производственных ситуаций является методом, реализация которого требует вовлечения работников горнодобывающего предприятия всех уровней иерархии управления в деятельность по управлению производственным риском. Применение этого метода позволяет:

- обеспечить управление производственным риском;
- учесть влияние опасных факторов, формирующихся в производственном процессе горнодобывающего предприятия, на функционирование смежного предприятия, участвующего в комбинированной разработке;
- учесть в работе системы обеспечения безопасности опасные факторы, как формирующиеся на каждом предприятии, так и обусловленные комбинированным способом разработки месторождения;

– обеспечить решение задач комбинированного способа добычи, таких как получение экономического эффекта, непрерывное и полное извлечение полезных ископаемых, снижение затрат и др.

Перечисленные достоинства обеспечивают предложенной методике достаточные преимущества по сравнению с другими методами управления риском. Так, методология фирмы «Дюпон» (Du Pont) нацелена на контроль опасных действий персонала и опасных ситуаций. Но в рамках методологии «Дюпон» опасные ситуации рассматриваются только с точки зрения риска возникновения аварий и травм (а не производственного риска, как опасные производственные ситуации) и, следовательно, не включены в производственное планирование.

Применение предложенных средств и инструментов контроля нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций в производственном планировании обеспечивает полноценную реализацию на предприятии (в компании) функции управления производственным риском (табл. 7.11).

Таким образом, совокупность предложенных методов позволяет реализовать модель управления производственным риском, тем самым обеспечив безопасность и эффективность горнодобывающего предприятия и его устойчивость в изменяющейся среде при осуществлении переходных процессов, что особенно важно для решения долгосрочных задач переходного периода.

Таблица 7.11 – Средства и инструменты планирования (на примере АО «СУЭК»)

Период планирования	Наименование средства / инструмента*
5 лет и больше	1. Стратегическое планирование развития горных работ предприятий с учетом возможных природных и техногенных рисков
1 год	1. Формирование и защита «Плана развития горных работ» на будущий год. 2. Ежегодный отчет о состоянии охраны труда и промышленной безопасности на предприятиях и о результатах проделанной работы по повышению уровня безопасности в АО «СУЭК». 3. Разработка Программы мероприятий по улучшению условий труда и повышению уровня промышленной безопасности (Комплексный план). 4. Ежегодная конференция «Промышленная безопасность, экология, охрана и медицина труда в СУЭК. Итоги года и задачи на будущий год». 5. Составление в ПЕ «Реестров повторяющихся нарушений требований безопасности, принятых к устранению»

Квартал	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формирование и защита на уровне головного офиса квартальных программ развития горных работ и бюджетов ПЕ. 2. Заседание Комитета по промышленной безопасности Правления АО «СУЭК»
Месяц	<ol style="list-style-type: none"> 1. Центральная комиссия по производственному контролю РПО. 2. Комиссия по производственному контролю ПЕ. 3. Корректировка на участках ПЕ «Реестров повторяющихся нарушений требований безопасности» по итогам предыдущего месяца. 4. Планы работы участков по устранению повторяющихся нарушений требований безопасности. 5. Оплата труда ИТР участков по результатам выполнения планов по устранению повторяющихся нарушений требований безопасности. 6. Составление в ПЕ и защита в РПО «Реестров опасных производственных ситуаций» и «Дорожных карт». 7. Премирование/депремирование «ключевой шестерки» ПЕ (директор, главный инженер, зам. по производству, зам. по ПК, главный механик, зам. гл. инженера по производству) за результаты работы по устранению ОПС
Декада	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отчет в РПО по результатам выполнения мероприятий по безопасности, запланированных в «Дорожных картах» в ПЕ
Неделя	<ol style="list-style-type: none"> 1. «День безопасности» в РПО и в ПЕ (видеоконференция). 2. Видеоконференция с головным офисом «СУЭК». 3. Отчет ПЕ по коэффициенту устраняемости нарушений требований безопасности
Сутки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диспетчер шахты передает сведения о текущем состоянии безопасности и происшествиях за прошедшие сутки. 2. Формирование суточного наряда с учетом мер по обеспечению безопасности. 3. Дежурство горнотехнических инспекторов в каждой смене
Смена	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формирование сменных нарядов (ЕКП и ФСН) с учетом устранения повторяющихся и выявленных нарушений, а также работ по устранению ОПС. 2. Контроль безопасного ведения горных работ (ЕКП). 3. Устранение выявленных нарушений (ЕКП и ФСН). 4. Контроль формирования сменных нарядов с учетом устранения повторяющихся и выявленных нарушений требований безопасности, а также работ по устранению ОПС. 5. Предсменный контроль компетентности работников (экзаменатор). 6. Проведение «Поведенческих аудитов безопасности» (ПАБ)

* **Жирным шрифтом** выделены новые средства и инструменты

Выводы по главе 7

Система обеспечения безопасности производства – это система действий, способов и средств, направленных на создание безопасных условий труда. Она является частью производственной системы, взаимосвязанной

с ее подсистемами: технической, технологической, организационной, управления персоналом и информационно-методического обеспечения.

Наиболее результативным средством обеспечения безопасности производства при заданном уровне его эффективности в рамках функционирования СОБП является управление производственным риском, что обеспечивает устранение или локализацию (смягчение) производственного конфликта. При этом главным конкурентным преимуществом угледобывающего предприятия в условиях высокой динамики внешней и внутренней среды его функционирования становится наиболее результативная модель управления производственным риском.

В основе предлагаемой модели управления производственным риском угледобывающего предприятия лежит механизм прогноза, выявления и контроля (устранения) опасной производственной ситуации, что позволит при реализации данной модели снижать производственный риск и, тем самым, сглаживать или устранять производственный конфликт.

В связи с этим, формирование и функционирование системы обеспечения безопасности производства должно отвечать следующим требованиям:

- модель обеспечения безопасности включает в себя производственное планирование с обязательным прогнозом и решениями по недопущению/устранению ОПС, организацию и выполнение производственных процессов и операций с мониторингом и контролем развития опасных производственных ситуаций с целью недопущения их реализации в негативные события;

- скорость реакции системы обеспечения безопасности должна быть выше, чем скорость развития опасной производственной ситуации;

- все работники, эксплуатирующие опасные производственные объекты, должны быть вовлечены в работу по выявлению ОПС, что предполагает не только знание требований охраны труда и промышленной безопасности и специфики комбинированного способа отработки месторождений, но и умение «читать» опасные производственные ситуации и действовать адекватно условиям конкретных стадий ОПС.

Такая система обеспечения безопасности производства будет способствовать обеспечению достижения уровня риска, приемлемого с социальной и экономической точки зрения.

Список литературы по главе 7

1. Артемьев В. Б. Безопасность производства (организационный аспект) / В. Б. Артемьев, В. А. Галкин, И. Л. Кравчук. – М.: Горная книга, 2015. – 144 с.
2. Артемьев В. Б. Освоение контроля опасных производственных ситуаций – новый этап в повышении безопасности и эффективности производства в АО «СУЭК» / В. Б. Артемьев, В. В. Лисовский, А. А. Сальников, Е. П. Ютяев, Ю. М. Иванов, И. Л. Кравчук // Уголь. – 2016. – № 12. – С. 46 – 50.
3. Волосов А. И. Организация системы управления рисками на производственном предприятии / А. И. Волосов, Ф. А. Азарченков // Вопросы экономики. – 2006. – № 34 (238). – С. 75 – 78.
4. Галиева Г. И. Ключевые подходы к управлению рисками развития производственных систем // Шумпетеровские чтения. Schumpeterian Readings: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Пермского национ. исследовательского политехнич. ун-та, 2017. – Т. 1. – С. 83 – 95.
5. Голубев М. Г. Снижение травматизма на угольных шахтах на основе выявления и устранения производственных конфликтов: дис. ... канд. техн. наук. Спец. 05.26.01 – «Охрана труда». / М. Г. Галиев. – Челябинск, 2004. – 127 с.
6. Механизм снижения рисков травмирования в рамках работы системы производственного контроля шахты / А. И. Добровольский, Е. П. Ютяев, Е. В. Мазаник, В. Н. Шмат, В. Ю. Гришин, И. Л. Кравчук, Е. М. Неволина // Горного информационно-аналитического бюллетень. Угледобыча: технологии, безопасность, переработка и обогащение. – 2012. – Отдельный выпуск № 5. – С. 283 – 297.
7. О механизме устранения повторяющихся нарушений требований безопасности на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / Ю. М. Иванов, В. Ю. Гришин, Е. Е. Китляйн, И. Л. Кравчук, Е. М. Неволина, А. В. Смолин // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 11. – С. 28 – 30.
8. Кравчук И. Л. Концепция управления производственным риском на угледобывающих предприятиях, основанная на контроле опасных производственных ситуаций / И. Л. Кравчук, В. В. Лисовский // Подземная угледобыча XXI век-3: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 12. – Специальный выпуск № 65. – Т. 3. – С. 3 – 12.
9. Прогноз развития систем обеспечения безопасности производства при подземной разработке месторождений угля / И. Л. Кравчук, Е. М. Неволина, А. И. Добровольский, Ю. М. Иванов // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 12. – С. 67 – 73.
10. Лисовский В. В. Управление производственными рисками посредством контроля и устранения опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии / В. В. Лисовский // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 2. – С. 67 – 72.

11. Об оперативном управлении рисками травмирования персонала: удержание опасной производственной ситуации на приемлемом уровне риска / В. В. Лисовский, В. Ю. Гришин, И. Л. Кравчук, А. В. Галкин // Уголь. – 2013. – № 11. – С. 46 – 52.
12. Мандрыкин А. В. Управление производственными рисками в интегрированной организационно-производственной системе / А. В. Мандрыкин // Организатор производства. – 2009. – № 3 (42). – С. 63 – 68.
13. Механизм предотвращения реализации опасной производственной ситуации / В. Б. Артемьев, В. А. Галкин, А. М. Макаров, И. Л. Кравчук, А. В. Галкин // Уголь. – 2016. – № 5. – С. 73 – 77.
14. Надежное обеспечение безопасности труда на предприятиях СУЭК / В. Б. Артемьев, В. В. Лисовский, Е. П. Ютяев, А. В. Федоров, А. Б. Килин, В. Н. Кулецкий, Г. М. Циношкин, А. И. Добровольский, А. П. Заньков, В. А. Галкин, А. М. Макаров, И. Л. Кравчук, А. С. Довженок, А. В. Галкин. // Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) : отдельная статья – М.: Горная книга, 2018. – № 5. (Спец. выпуск 20). – 42 с. – (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 34).
15. Авдийский В. И. Прогнозирование и анализ рисков в деятельности хозяйствующих субъектов: научные и практические основы: монография / В. И. Авдийский, Ш. Р. Курмашов; под ред. М. А. Эскиндарова. — М.: Финансовая академия, 2003. — 392 с.
16. Радионов С. Н. Снижение риска травмирования на разрезе «Черногорский» на основе функционального развития службы охраны труда и производственного контроля // Актуальные проблемы горного дела. – 2018. – № 2 (6). – С. 55–60.
17. Резервы повышения безопасности производства в АО «СУЭК» / В. Б. Артемьев, В. В. Лисовский, А. И. Добровольский, И. Л. Кравчук // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 106 - 113.
18. Рыльникова, М. В. Обоснование параметров комбинированной геотехнологии — основа повышения полноты и комплексности освоения недр / М. В. Рыльникова // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр земли: материалы V Международной конференции, (22–26 мая 2009 г.). – Магнитогорск, 2011. – С. 22 – 30.
19. Смирнова Е. В. Система управления производственным риском на предприятии: дис. ... канд. экон. наук. Спец. 08.00.05. / Е. В. Смирнова. – Воронеж, 2002. – 183 с.
20. Федорец А. Г. Зимнее словостояние. Понятие «профессиональный риск» в международной и национальной практике / А. Г. Федорец // Безопасность и охрана труда: Специализированное издание НОЧУ ДПО «Биота-Плюс». – 2014. – № 4. – С. 8 – 15.

21. Федорец А. Г. Концепции риска в жизни и деятельности человека / А. Г. Федорец // Безопасность в техносфере. – 2013. – № 1 (40). – С. 3 – 13.
22. Федорец А. Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков / А. Г. Федорец // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2008. – № 2 (20). – С. 10 – 16.
23. Федорец А. Г. Применение современной методологии риск-менеджмента в системах менеджмента безопасности труда и охраны здоровья / А. Г. Федорец // Безопасность и охрана труда: специализированное издание НОЧУ ДПО «Биота-Плюс». – 2018. – № 1 (74). – С. 1 – 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переходный процесс в теории систем представляет реакцию динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие с момента приложения этого воздействия до некоторого установившегося состояния. Изучение переходных процессов – важный шаг в процессе анализа динамических свойств и качества рассматриваемой системы.

Применительно к горно-обогатительному производству, переходные процессы – это комплекс организационных, технических и технологических мероприятий, необходимых для перевода всех подсистем предприятия в состояние, учитывающее изменение условий (внешних и внутренних) для его успешного функционирования и развития.

В научном плане исследование переходных процессов – это новое направление развития методологического подхода к решению проблем освоения недр на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности. Реализация такого подхода особенно необходима при переходе от плановой к рыночной экономике. Этот подход позволяет перейти от организации и параметров системы, созданной в условиях неполноты информации, путем реализации обоснованных исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретного разрабатываемого или осваиваемого вновь месторождения к новой структуре, организационно, технологически и технически соответствующей изменившимся характеристикам горнотехнических и горно-геологических параметров вновь вскрываемых запасов минерального сырья, требующих других технологий его добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

В монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» (В.Л. Яковлев, С.В. Корнилов, И.В. Соколов) дано определение инновационного базиса как научно-технологической основы современной стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья, включающей методологический подход к решению проблем освоения недр, основанный на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом особенностей проектирования освоения новых месторождений,

планирования и управления технологическими процессами на действующих горнодобывающих предприятиях.

Для реализации методологического подхода, основанного на учете переходных процессов, необходимы:

- оценка современного состояния конкретного горнодобывающего предприятия, в том числе его структуры, системы управления, параметров технологии всех звеньев горнотехнической системы;

- количественная и качественная оценка вскрытых, добываемых и перспективных запасов и периодическая их переоценка;

- установление соответствия параметров систем разработки и параметров технологических процессов (разрушения горной массы, погрузки, транспортирования, селекции и усреднения, рудоподготовки и обогащения) сформировавшимся и перспективным условиям их функционирования;

- оценка запасов нижележащих блоков залежей на основе уточнения бортового содержания, количества и качества основного и попутных полезных ископаемых;

- корректировка границ карьера по глубине горных работ с учетом прогноза горно-геологических условий, российских и мировых тенденций производства и потребления минерального сырья;

- формирование карьерного пространства с учетом устойчивости бортов карьеров;

- выбор способа вскрытия новых горизонтов, уточнение объемов добычных и вскрышных работ с выбором оптимального режима горных работ;

- оценка соответствия машин и механизмов всех действующих технологических процессов сформировавшимся и перспективным условиям их эксплуатации и, как результат, долгосрочная стратегия развития предприятия с учетом периодического перехода на новые технологии, в том числе от открытой к подземной или комбинированной технологии разработки запасов месторождения.

Переходные процессы являются этапами стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений – от долгосрочного плана действий при разведке, проектировании и разработке месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода

на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической информации о месторождении при принятии заранее спланированных технологических и технических решений в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий функционирования горного предприятия, включая учет закономерностей их развития при принятии инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья.

Главным показателем, характеризующим высокую степень новизны исследований, является дальнейшее развитие программно-целевого методологического подхода к исследованию проблем освоения недр, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы» и учета закономерностей их развития при разработке инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья.

Сущность новизны исследования переходных процессов при проектировании и разработке глубокозалегающих месторождений состоит в том, что если при оценке динамики развития горнотехнической системы и показателей ее функционирования возникает необходимость изменить параметры техники или технологии горно-обогатительного производства, то следует установить необходимость, совокупность и последовательность ряда действий (мероприятий), чтобы принять и реализовать принятые технологические инновационные решения.

Новизна исследований проблемы формирования карьерного пространства состоит в том, что определяющим глубину перехода вскрывающих выработок на крутые уклоны при небольшой и средней глубине карьеров является дополнительный разнос бортов. Целесообразная глубина перехода на крутые уклоны при небольшой и средней глубине карьеров находится в пределах 0 – 25% от их глубины.

Внесен вклад в развитие основ геотехнологической стратегии освоения переходных зон при последовательной схеме комбинированной разработки рудных месторождений, состоящий в систематизации, формировании и конструировании вариантов геотехнологии с учетом специфических факторов и условий, сформированных при открытых горных работах,

с целью обеспечения оптимальных условий при освоении запасов на нормальной стадии развития подземных горных работ, и в установлении на основе экономико-математического моделирования оптимальной геотехнологической стратегии по критерию интегрального эффекта от освоения переходной зоны и основных запасов месторождения.

Новизна полученных результатов при исследовании подземных горных работ состоит в том, что для условий последовательной схемы комбинированной разработки мощного глубокозалегающего медноколчеданного месторождения установлен оптимальный вариант геотехнологии, основанный на нисходящем порядке отработки, поэтапном вскрытии переходной зоны и основных запасов автоуклоном из карьера, разработке переходной зоны камерной системой с закладкой под рудным целиком и последующей отработкой основных запасов этажно-камерной системой с закладкой под сформированным в пределах переходной зоны закладочным массивом.

Результаты исследований целесообразно использовать при разработке технико-экономических обоснований, проектов, опытно-промышленных испытаний геотехнологии освоения переходных зон кимберлитовых трубок (Удачная, Зарница, Дачное, Юбилейное), железорудных месторождений (Тарыннахское, Горкитское, Естюнинское), Урупского и Весенне-Аралчинского медноколчеданных месторождений, золоторудных месторождений «Джульетта» и «Ветренское» (Магаданская область), Кыштымского кварцевого и Малышевского изумрудно-бериллиевого месторождений и др.

Впервые выделены переходные процессы в части буровзрывных работ, сформулированы требования к новым буровым станкам, обеспечивающим высокоэффективное бурение скважин в условиях интенсивной разработки крутопадающих месторождений, разработаны методические рекомендации по определению производительности смесительно-зарядных машин для конкретных условий эксплуатации, разработан подход для оперативного получения уточненных данных о детонационных характеристиках ВВ и о прочностных свойствах массива горных пород, получаемых в процессе обуривания выемочного блока, определена взаимосвязь между взрывным разрушением горного массива и выемочными работами, предложен расчётный аппарат для обоснования эффективности применения горизонтального вруба по подошве уступа.

Предложен усовершенствованный метод оценки структурно-прочностных характеристик пород и руд месторождения, влияющих на эффективность буровзрывного комплекса, который заключается в моделировании его состояния на основе параметров бурения взрывных скважин.

Предложена методика получения информации о прочностных и технологических свойствах массива горных пород, получаемых в процессе бурения, включая дополнительную информацию об угле наклона и координатах скважины, состоянии электродвигателей бурового станка, степени износа бурового инструмента. Степень физического износа шарошечного долота при бурении в крепких, крепчайших горных породах существенно влияет на энергоемкость проходки взрывных скважин. В некоторых случаях до 50 – 70% потребляемой энергии из-за предельного износа долота приходится на непроизводительные затраты.

Предлагаемый усовершенствованный способ позволяет полученные данные о каждой из пробуренных скважин использовать для уточнения расположения участков породы в массиве с различной крепостью и зон технологической нарушенности по всей группе скважин.

Новизна исследований в формировании транспортных систем карьеров заключается в обосновании целесообразности: расположения перегрузочных пунктов при применении автомобильно-конвейерного транспорта на борту карьера с начальной стадии отработки месторождения; обоснование возможности применения съездов с крутым уклоном при использовании гусеничных самосвалов; предложены варианты развития транспортной системы карьера в переходные периоды разработки месторождения.

Обоснован методический подход к адаптации горнотранспортных систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений, базирующийся на следующих принципах:

– обоснование параметров транспортных систем карьеров (ТСК) должно базироваться на многовариантном подходе, основанном на имитационном компьютерном моделировании функционирования ТСК во взаимосвязи с ключевыми параметрами горно-технологической системы в целом (через трехмерное компьютерное моделирование и т.п.);

– методика технико-экономического сравнения является адаптивной и базируется на результатах и экономико-математическом моделировании,

позволяет рассматривать варианты не только традиционных, но и новых видов (инновационных конструкций) транспорта;

- выбор предпочтительного варианта адаптации осуществляется не по дискретным значениям, а на сплошных многомерных (многофакторных) моделях (в простейшем случае – трехмерных), что существенно повышает точность прогнозирования и обоснованность принимаемых решений;

- может осуществляться сквозная оптимизация процессов открытых горных работ (оптимизация только одного процесса не дает максимальной эффективности);

- применение гибкого подхода в адаптации схемы вскрытия, управления параметрами рабочей зоны и порядка ведения горных работ.

Важным элементом методов адаптации ТСК к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений является комплексный учет факторов и комбинирование методик и способов адаптации. Так, совместное использование усовершенствованной методики технико-экономического сравнения видов транспорта и инновационных решений в области геотехнологии позволило установить, что на карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения, циклично-поточную технологию с автомобильно-конвейерным транспортированием руды целесообразно вводить с самого начала ее добычи.

Усовершенствованная методика технико-экономических расчетов для циклично-поточной технологии позволила выполнить новый этап исследований эффективности применения комплексов ЦПТ (в сравнении с экскаваторно-автомобильным комплексом (ЭАК)). Учтены технологические особенности размещения дробильно-конвейерных комплексов, в том числе: размещение с разнесом борта карьера и без разнеса (инновационные схемы). Рассматриваемые варианты сравниваются по удельным капитальным и эксплуатационным затратам. Для этого действительные затраты на расчетный год за период оптимизации приведены к одному моменту времени и отнесены к значению удельных капитальных затрат, направленных на применение ЭАК с производительностью 5 млн т/год и с высотой подъема горной массы 180 м, условно соответствующим 100%. Установлено, что отношения затрат на применение комплекса ЦПТ без разнеса борта к затратам на рудных ЭАК не превышает значения 0,88, а, следовательно, ЦПТ будет выгоднее в большом диапазоне горнотехнических условий.

Первым этапом разработки систем управления качеством минерального сырья является всестороннее изучение и определение контрастности качественных характеристик ПИ, выделение технологических типов и сортов руд, в т.ч. по данным геологоразведки, лабораторных исследований, результатов опытно-промышленных экспериментов и промышленной эксплуатации месторождений.

Также важным этапом рудоподготовки является моделирование качественных характеристик полезного ископаемого с помощью ГИС-технологий, включая блочное моделирование и геометризацию параметров объектов (рудных тел, распределения в рудном теле рудообразующих минералов, показателя обогатимости, контрастности, засоренности, содержания ценных компонентов и др.) с целью районирования в карьерном пространстве технологических типов руд.

Разработаны основные методические положения оценки качественных показателей минерального сырья на основе контрастности его химических, текстурно-структурных свойств и минерального состава для обоснования технологических типов руд.

Апробация предложенных методик выбора способа управления качеством минерального сырья выполнена на основе геологических баз данных: Северной залежи Гусевогорского месторождения титаномагнетитов (в пределах Северного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК») и Серовского месторождения комплексных руд.

Новизной разработанной методики по выявлению закономерностей изменения содержания ценных компонентов в руде является геометризация комплексного показателя обогатимости, который учитывает текстуру и структуру руд. На основе полученной методики возможно выделение перспективных для разработки участков в плане и по глубине, а также производство календарного планирования объемов добычи с решением задачи управления качеством минерального сырья.

Результаты исследований по минеральному составу титаномагнетитовой руды использованы для оценки и повышения эффективности магнитной сепарации на обогатительной фабрике Качканарского ГОКа. Изучение объемного веса руды Северного карьера и его взаимосвязи с содержанием железа в руде позволят геологической службе предприятия более точно планировать объемы добычи и улучшить отчетность при

списании балансовых запасов. Разработанные методические подходы при геофизическом изучении массива известняка с помощью электро-разведки для АО «Березниковский содовый завод» позволили усовершенствовать методику подсчета потерь при добыче полезного ископаемого.

Новизна предлагаемого подхода для оценки качества полезного ископаемого на основе электрометрических методов геофизических исследований массивов месторождений заключается в исследовании градиентов, контрастов и абсолютных размеров плотностей, электрических и магнитных свойств наряду с аналитическими сигналами вещественного анализа полезного ископаемого как петрофизического признака состояния катионов, т.е. как ожидаемого, прикладного и полезного сигнала, в котором действует прямой физический индикатор той или иной степени восстановления элементов. Использование и интерпретация этого сигнала позволяет, минуя промежуточные технологические звенья, создавать информационный ресурс оперативной регистрации распределения петрохимических сортов полезного ископаемого в объеме подготавливаемого к отработке блока.

На основе анализа научно-методической базы и практики работы угледобывающих предприятий обоснованы принципы формирования системы управления производственным риском. Доказано, что если объектом управления этой системы является производственный риск, включающий в себя риски возникновения травм и аварий и невыполнения производственного задания, то ее эффективность в условиях высокой динамики среды возрастает.

В части обеспечения безопасности производства и управления рисками возникновения аварий и травм формализованы и охарактеризованы (типизированы) модели обеспечения безопасности производства. На основе анализа этих моделей установлено, что существующие модели не могут в полной мере устранить производственный конфликт между эффективностью и безопасностью производства.

Разработана логическая модель управления производственным риском, основанная на контроле опасных производственных ситуаций. Показаны результаты реализации основных этапов управления производственным риском, доказывающие ее результативность.

Основные управленческие и организационные решения, предложенные с учетом результатов исследования, были реализованы в подразделениях АО «СУЭК-Кузбасс», ООО «СУЭК-Хакасия» (АО «Сибирская угольно-энергетическая компания»). Предлагаемые решения нацелены на обеспечение устойчивости горнодобывающего предприятия в динамичной среде (переходные процессы), освоение которых позволит повысить уровень безопасности и эффективности производства.

Разработанные средства и инструменты контроля нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций могут быть рекомендованы к освоению на любых объектах недропользования (карьеры, шахты, горнодобывающие предприятия и компании), для которых актуальны задачи обеспечения устойчивости производства в условиях переходных процессов и управления производственным риском.

Установлено, что дальнейшие исследования в данном направлении целесообразно сосредоточить на повышении результативности каждого из инструментов контроля нарушений требований безопасности и достижения синергетического эффекта при их совместном использовании в рамках единой комплексной методики.

Технико-экономическая оценка эффективности внедрения инновационных решений по различным технологическим процессам существенно различна и изменяется от нескольких миллионов до 1,5 млрд руб., а эффективность, за счет увеличения углов наклона бортов карьера, может исчисляться экономией десятков и сотен миллионов кубометров вскрышных пород, стоимость разработки которых существенно отличается по различным разрабатываемым и подлежащим освоению глубокозалегающим месторождениям и оцениваемым периодам их разработки.

Признанием объективной необходимости исследования переходных процессов в качестве нового научного направления при разработке теоретических основ стратегии и технологии комплексного освоения месторождений явилось включение в план научно-исследовательских работ ИГД УрО РАН в качестве государственного задания темы фундаментальных исследований на 2016 – 2018 гг. «Теоретические основы стратегии комплексного освоения месторождений и технологий их разработки с учетом особенностей переходных процессов в динамике развития горнотехнических систем» (рег. №0405-2015-0010) и Темы 1 плана НИР на

2019 – 2021 гг. «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (рег. №0405-2019-0005).

Для реализации подхода, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, необходима оценка современного состояния конкретного горнодобывающего предприятия, в том числе структуры, системы управления, параметров технологии всех звеньев горнотехнической системы, количественной и качественной оценки вскрытых, добываемых и перспективных запасов, периодической переоценки запасов, а также соответствия действующих на момент оценки параметров систем разработки наилучшему использованию транспортных коммуникаций, соответствия параметров отдельных технологических процессов: разрушения, погрузки, транспортирования, селекции и усреднения, рудоподготовки и обогащения сложившимся условиям их функционирования. Также необходима оценка запасов нижележащих блоков залежей, уточнение бортового содержания с учетом качества основного и попутного полезных ископаемых, корректировка границ по глубине горных работ и формирование карьерного пространства с учетом устойчивости бортов карьеров, выбор способа вскрытия новых горизонтов, уточнение объемов добычных и вскрышных работ с выбором оптимального режима горных работ, оценка соответствия машин и механизмов всех действующих технологических процессов сформировавшимся и перспективным условиям их эксплуатации и т.д. Результат: долгосрочная стратегия с учетом периодического перехода на новые технологии.

Переходные процессы – это совершенно объективно необходимый путь перевода горнотехнической системы предприятия в состояние, учитывающее изменение условий (внешних и внутренних) для ее успешного доразвития и функционирования, от организационной структуры и ее параметров, созданных в условиях неполноты информации, к системе, обоснованной исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретно осваиваемого месторождения к новой организационной структуре, технологически и технически оснащенной, соответствующей изменившимся геологическим характеристикам и другим параметрам вновь вскрываемых запасов минерального сырья,

требующим других технологий добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

Исследование переходных процессов является дальнейшим развитием разработанного в ИГД УрО РАН методологического подхода на основе совокупного использования принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, который возможно реализовать непрерывным мониторингом развития горнотехнической системы горно-обогатительного предприятия, своевременной разработкой технических, технологических и организационных мероприятий переходных процессов на всех стадиях освоения месторождения и реализацией рекомендаций по совершенствованию требующих изменения параметров и технологий в связи с изменяющимися внутренними и внешними условиями функционирования горного предприятия.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным и может использоваться 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.

В целом, предлагаемый методологический подход позволяет более полно учесть геологические, горнотехнические, экологические и организационные особенности оцениваемых месторождений и районов их расположения, а также обеспечить предпосылки для системного принятия наиболее эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологических решений.

Перечень монографий ученых в области освоения недр

1. Агошков М. И. Научные основы оценки экономических последствий потерь полезных ископаемых при разработке месторождений / М. И. Агошков. – М.: АН СССР, ИФЗ, 1972. – 150 с.
2. Арсентьев А. И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей / А. И. Арсентьев. – М.: Недра, 1981. – 278 с.
3. Бастан П. П. Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях / П. П. Бастан, Н. Н. Болошин. – М.: Недра, 1981. – 280 с.
4. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
5. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев; отв. ред. Мельников Н. В. – М.: Наука, 1972. – 202 с.
6. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России / под ред. К. Н. Трубецкого, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2008. – 464 с.
7. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К. Н. Трубецкой, Ю. Н. Малышев, Л. А. Пучков, В. Л. Яковлев [и др.] – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.
8. Дизель-троллейвозный транспорт на карьерах / В. Л. Яковлев, В. П. Смирнов, Ю. И. Лель, Э. В. Горшков. – Новосибирск: Наука, 1991. – 104 с.
9. Каплунов Д. Р. Комбинированная геотехнология / Д. Р. Каплунов, В. Н. Калмыков, М. В. Рыльникова. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 560 с.
10. Комплексное освоение месторождений / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова. – М.: Наука, 2010. – 437 с.
11. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов [и др.] – М.: Наука, 2010. – 440 с.
12. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации в 2-х т.: Т.1: Прогнозно-металлогенетический анализ; Т. 2: Минерально-сырьевой и стоимостной анализ / науч. ред. Петров О. В. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – т. 1 – 223 с.; т. 2 – 491 с.

13. Потапов М. Г. Карьерный транспорт / М. Г. Потапов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 239 с.
14. Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ / под общ. ред. В. В. Ржевского. – М.: Недра, 1966. – 238 с.
15. Ржевский В. В. Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук / В. В. Ржевский. – М.: МГИ, 1991. – 242 с.
16. Спиваковский А. О. Транспорт в горном деле / А. О. Спиваковский; АН СССР. – М.: Наука, 1985. – 127 с.
17. Техногенное минеральное сырье Урала / В. А. Перепелицын, В. М. Рытвин, В. А. Коротеев [и др.] / Институт геологии и геохимии УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 332 с.
18. Яковлев В. Л. Границы карьеров при проектировании сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев, М. Г. Саканцев, Г. Г. Саканцев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. – 302 с.
19. Яковлев В. Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В. Л. Яковлев, А. В. Гальянов. – 2-е изд. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 152 с.
20. Яковлев В. Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала / В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин, Н. Л. Стахеев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 278 с.
21. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев ; отв. ред. В. С. Хохряков ; Институт горного дела Севера СО АН СССР. – Новосибирск: Наука СО, 1989. – 240 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Виктор Леонтьевич Яковлев

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ —
НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В РАЗВИТИИ
МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ**

Рекомендовано к изданию решениями:
Ученого совета Институт горного дела УРО РАН,
Объединенного Ученого совета УрО РАН по наукам о Земле,
Уральским отделением РАН

ISBN 978-5-7691-2532-4



ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УРО РАН
620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО АМБ»
620142, г. Екатеринбург, ул. Фрунзе, 35а, офис 517
+7 (912) 242-20-73, +7(963) 449-75-40, e-mail: amb@amb.ur.ru
www.amb-ural.ru

Генеральный директор *Владимир Лобок*
Руководитель проекта *Оксана Чистякова*
Дизайнер-верстальщик *Светлана Полежаева*
Редактор-корректор *Марина Торопова*

Подписано в печать 19.02.20 Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 11,16. Тираж 150. Заказ №14/1
Отпечатано в типографии ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО АМБ»