

Министерство науки и высшего образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

На правах рукописи



БУРМИСТРОВ КОНСТАНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО СОХРАНЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕМ ПОЭТАПНОГО ВСКРЫТИЯ
ЗАПАСОВ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ПРИ ОТКРЫТОЙ
И КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

**Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук**

**Научный консультант
профессор, доктор технических наук
Сергей Евгеньевич Гавришев**

Магнитогорск 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ВСКРЫТИЯ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	11
1.1 Анализ условий функционирования современных горнодобывающих предприятий и перспектив освоения крутопадающих месторождений.....	11
1.2 Анализ научно-методической базы вскрытия глубоких горизонтов крутопадающих месторождений и формирования карьерных грузопотоков.....	25
1.3 Анализ особенностей вскрытия крутопадающих месторождений при открыто-подземном способе разработки.....	49
1.4 Цели, задачи и методы исследования.....	60
Выводы:.....	62
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ	66
2.1 Влияние схемы вскрытия на параметры горнотехнической системы.....	66
2.2 Роль и место системы вскрытия в структуре горнотехнической системы карьера.....	76
2.3 Обоснование параметров системы вскрытия при освоении запасов глубоких горизонтов.....	89
2.4 Факторы, влияющие на продолжительность этапа функционирования системы вскрытия.....	96
2.5 Исследование возможных стратегий развития горнотехнической системы и системы вскрытия.....	107
Выводы.....	120
3. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ	122
3.1 Систематизация принципов устойчивого функционирования системы вскрытия	122
3.2 Обоснование критерия эффективности системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождения.....	128
3.3 Ранжирование параметров системы вскрытия.....	142
3.4 Обоснование метода принятия решения по выбору стратегии устойчивого развития ГТС.....	155
Выводы.....	159
4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ	161
4.1 Обоснование основных параметров этапа вскрытия при освоении запасов глубоких горизонтов.....	161

4.2	Обоснование параметров этапа вскрытия при развитии циклично-поточной технологии транспортирования.....	168
4.3	Оценка влияния применяемого карьерного автотранспорта на параметры этапа разработки.....	179
4.4	Обоснование параметров вскрытия с карьерными подъемниками при открыто-подземной разработке рудных месторождений.....	189
	Выводы.....	215
5.	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЭТАПНОГО ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	218
5.1	Разработка конструкции карьерной вскрывающей выработки для подземного рудника.....	218
5.2	Разработка методики определения параметров этапов вскрытия глубоких горизонтов рудных месторождений и выбора стратегии развития ГТС.....	230
5.3	Развитие методических основ формирования системы вскрытия при разработке крутопадающих месторождений.....	237
	Выводы.....	242
6.	РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ НА КАРЬЕРАХ.....	244
6.1	Разработка практических рекомендаций по определению параметров системы вскрытия в текущем этапе разработки месторождений.....	244
6.2	Разработка варианта системы вскрытия в переходный период с открытого на подземный способ разработки на месторождении Юбилейное.....	258
6.3	Разработка практических рекомендаций по оценке и выбору системы вскрытия на месторождении Малый Куйбас.....	262
	Выводы.....	288
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	290
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	294
	Приложение А	334
	Приложение Б	337
	Приложение В.....	339

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Освоение запасов рудных крутопадающих залежей открытым способом ведется глубокими карьерами с текущей глубиной 300-500 м и более, проектные глубины карьеров достигают 700-900 м, для многих предприятий рассматривается перспектива перехода на комбинированный способ разработки. Добыча руды на крупных месторождениях осуществляется несколько десятилетий, что в условиях изменчивости внешней и внутренней среды не позволяет принимать оптимальное решение по основным параметрам горнотехнической системы на весь период и полную глубину разработки. Горные работы на таких месторождениях производятся этапами, в соответствии с этим поэтапно проектируется и развивается горнотехническая система и ее подсистемы. С увеличением глубины разработки большую долю в себестоимости полезного ископаемого составляют затраты на транспортирование горной массы, достигающие 60-70% от общих затрат на разработку. Также растет доля объемов горных работ на создание схемы вскрытия, достигающих 20-35% от общего объема вынимаемых из карьера вскрышных пород, возрастает негативное воздействие транспорта на атмосферу карьеров при производстве работ на глубоких горизонтах. Поэтому трудоемкость работ по созданию транспортного доступа и затраты на организацию процесса транспортирования горной массы во многом определяют эффективность освоения запасов глубоких горизонтов карьеров.

Ухудшающиеся горнотехнические, экономические и экологические условия разработки месторождений при высокой интенсивности развития горных работ все чаще ставят недропользователей перед необходимостью обоснования стратегии развития горнотехнической системы, путем изменения параметров открытых горных работ, либо перехода на комбинированный способ. При этом по глубине разработки месторождений сформировалась зона, в диапазоне глубин 200-700 м, в которой могут развиваться как открытые горные работы, так и осуществляться переход на открыто-подземный способ. Вопросы обоснования параметров горнотехнической системы в данной зоне являются недостаточно проработанными, в то же время принимаемые решения являются кардинальными для горнодобывающих предприятий. Одним из самых сложных, длительных и капиталоемких преобразований горнотехнической системы является изменение существующей или создание новой схемы вскрытия для карьера, или предполагаемого подземного рудника, причем наиболее

сложно реализуемые изменения в дальнейшем могут обеспечивать наилучшие технико-экономические показатели процесса транспортирования. Эффективность освоения запасов месторождений на глубоких горизонтах во многом будет определяться рациональным балансом между параметрами комбинированной цикличной и поточной технологий транспортирования горной массы, с соответствующим изменением подходов к формированию схем вскрытия. Для этого на каждом этапе разработки месторождения, при обосновании вариантов вскрытия и процесса транспортирования горной массы, необходимо учитывать большое количество экономических, технико-технологических, экологических и социальных факторов, влияющих на эффективность принимаемых решений.

Указанные обстоятельства предопределили необходимость разработки методических основ проектирования поэтапного развития системы вскрытия, обоснования ее параметров применительно к условиям производства горных работ на глубоких горизонтах карьеров, обеспечивающих устойчивое функционирование горнорудных предприятий, разрабатывающих крутопадающие месторождения открытой и комбинированной геотехнологиями, что является актуальным и имеет важное хозяйственное значение.

Объект исследования: система вскрытия глубоких горизонтов при комбинированной геотехнологии.

Предмет исследования: параметры системы вскрытия, обеспечивающие устойчивое функционирование горнорудных предприятий на различных этапах разработки месторождения.

Методы исследования. В диссертации использован комплекс методов, включющий: научное обобщение опыта разработки месторождений отечественными и зарубежными горнодобывающими компаниями; систематизация результатов исследований в области вскрытия месторождений при открытом и комбинированном способах разработки; системный анализ горнотехнических систем предприятий для выделения основных параметров этапов вскрытия; имитационное моделирование с использованием специализированных программных комплексов; технико-экономическая оценка; методы теории нечетких множеств; многокритериальные методы принятия решений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Устойчивое функционирование горнорудных предприятий при освоении

запасов глубоких горизонтов крутопадающих месторождений достигается поэтапным изменением доли поточной технологии транспортирования горной массы с соответствующим изменением положения и параметров карьерных вскрывающих выработок. Изменение схем вскрытия и транспортного обеспечения необходимо производить: внутри текущего этапа разработки - при снижении эффективности цикличного транспорта; при переходе на новый этап открытых горных работ, связанный с изменением контура карьера; при переходе с открытого на открыто-подземный способ разработки; при использовании сформированных техногенных георесурсов для целей, не связанных с добычей руды.

2. Обоснование параметров и условий поэтапного вскрытия глубоких горизонтов крутопадающих месторождений должно базироваться на расширенном понятии системы вскрытия, включающем совокупность вскрывающих выработок, транспортных средств и устройств, внутрикарьерных пунктов перегрузки горной массы и оцениваться разработанным комплексным критерием эффективности системы вскрытия, учитывающем вес и целевые значения входящих в него параметров.

3. Переход на очередной этап вскрытия глубоких горизонтов высокопроизводительных карьеров (с глубины 200 м), отрабатывающих мощные крутопадающие месторождения с низким содержанием полезных компонентов, должен осуществляться путем развития циклично-поточной геотехнологии транспортирования горной массы с изменением конструкции рабочей зоны и переходом на высокие уступы в безрудном массиве для увеличения ширины и сокращения количества рабочих площадок, интенсификации отработки участков будущего размещения карьерных подъемников, что позволяет в 1,5-1,8 раза ускорить обустройство перегрузочных пунктов с шагом их переноса 170-200 м.

4. На этапе перехода к открыто-подземному способу разработки крутопадающих месторождений средней и малой мощности с наличием запасов за проектным контуром карьера использование вариантов вскрытия с конвейерными подъемниками, формируемыми до дна карьера, позволяет вовлечь в разработку из выработанного пространства карьера запасы, удаленные по горизонтали от контура его борта до 3,5 км и ниже уровня дна карьера до глубины 750 м в зависимости от производительности рудника и глубины расположения перегрузочного пункта.

5. Вскрытие глубоких горизонтов карьера при переходе к открыто-подземному

способу доработки залежей с применением карьерных подъемников, объединяющих подъем горной массы с доставкой оборудования и материалов к внутрикарьерным перегрузочным пунктам, содержащих крутонаклонный ленточный конвейер и дополнительный привод для крепления самоходного оборудования, позволяет увеличить глубину карьера до 30% без разноса его бортов по поверхности путем частичной отработки транспортных берм и создания предложенных горнотехнических конструкций для транспортирования пород при комбинированном способе добычи.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных и аprobацией результатов исследований на действующих карьерах; соответием полученных теоретических результатов фундаментальным положениям теории вскрытия карьерных полей и проектирования горнотехнических систем; удовлетворительной сходимостью результатов, полученных различными методами исследований, между собой и с данными производственной деятельности предприятий; корректным проведением процедуры экспертных оценок; аprobацией результатов исследований на карьерах. Информационной базой исследования явились: отраслевая научно-техническая литература, отчеты НИР, материалы конференций по тематике исследований, результаты исследования автора, действующее законодательство РФ.

Научная новизна:

1. Методологический подход к выбору варианта поэтапного вскрытия глубоких горизонтов карьера, базирующийся на использовании комплексного критерия оценки эффективности системы вскрытия, расчет которого предполагает применение комбинации многокритериальных методов анализа, отличающейся учетом не только технологических и экономических, но и технических, социальных и экологических факторов на стадии принятия решения, использованием качественных и количественных значений параметров оценки рассматриваемой системы, весовых коэффициентов каждого параметра и их целевых значений.

2. Закономерности изменения показателей грузооборота и объемов вскрышных пород при формировании схем вскрытия в зависимости от глубины разработки месторождения, полученные на основе моделирования с использованием интегрированных систем проектирования, определяющие выбор варианта схемы

транспортного обеспечения горных работ при поэтапном вскрытии запасов глубоких горизонтов.

3. Инновационные геотехнологические решения по сохранению устойчивости функционирования горнорудных предприятий за счет поэтапного вскрытия глубоких горизонтов карьера с циклично-поточной технологией транспортирования горной массы, основанные на применении карьерных подъемников до конечной глубины карьера при открытой и комбинированной геотехнологии.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования; проведении теоретического анализа особенностей развития схем вскрытия и формирования транспортных комплексов при разработке крутопадающих месторождений; разработке критерия и алгоритма оценки эффективности системы вскрытия на основе применения многокритериальных методов принятия решений, позволяющих учитывать большое количество влияющих факторов, оцениваемых качественными и количественными данными; обработке экспертных оценок и выполнении расчетов для ранжирования параметров системы вскрытия; разработке геотехнологических решений по сохранению устойчивости горнорудных предприятий при переходе на очередные этапы разработки; математическом моделировании вариантов развития системы для действующих карьеров; анализе и обобщении полученных результатов; подготовке публикаций по теме исследования.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории вскрытия карьерных полей и научном обосновании новых геотехнологических решений по сохранению устойчивости функционирования горнорудных предприятий за счет поэтапного вскрытия запасов глубоких горизонтов при открытой и комбинированной отработке крутопадающих месторождений.

Практическая значимость результатов исследования состоит в использовании предложенных геотехнологических решений при обосновании параметров системы вскрытия горнодобывающих предприятий уральского региона, позволяющих выбрать наилучшую стратегию перехода на новый этап разработки; в разработке технологических решений по формированию рабочей зоны карьеров, позволяющих повысить эффективность циклично-поточной технологии транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьеров; в разработке конструкции карьерных подъемников, объединяющих функции транспортирования горной массы, доставки оборудования и материалов для обслуживания перегрузочного пункта в карьере,

позволяющей исключить необходимость поддержания системы транспортных съездов при использовании карьера в качестве вскрывающей выработки при переходе на открыто-подземный способ разработки.

Реализация результатов исследования:

Разработанные геотехнологические решения рекомендованы к использованию при проектировании новых и реконструкции действующих горнодобывающих предприятий. Отдельные результаты работы использованы при разработке рекомендаций и проектных решений по изменению параметров вскрытия на карьерах ПАО «ММК», ЗАО «Ормет», ООО «Южно-уральская ГПК», АО «Орское карьерауправление» и др. Эффективность разработанных технологий подтверждена актами внедрения с указанием достигнутого экономического эффекта.

Также, основные научные положения и практические решения диссертации использованы в научно-методическом обеспечении учебного процесса по дисциплинам: «Проектирование карьеров», «Процессы открытых горных работ», «Обоснование проектных решений», «Технология и комплексная механизация открытых горных работ» специальности 21.05.04 – Горное дело, специализации «Открытые горные работы», при подготовке курса «Спецдисциплина» для аспирантов по направлению 21.06.01 – Геология, разведка и разработка полезных ископаемых, профиля 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)».

Апробация работы

Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и межрегиональных конференциях и симпозиумах: «Неделя горняка» (Москва, 2004, 2006, 2009, 2013, 2018 гг.); «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2013, 2017, 2019, 2021 гг.); «Открытые горные работы в XXI веке» (Красноярск, 2015, 2017 гг.); «Проблемы недропользования» (Екатеринбург, 2014 г.); «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магнитогорск, 2010-2021 гг.); Международная научно-практическая конференция «Проблемы индустриального инновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна» (Казахстан, г. Житикара, 2010 г.); Современные достижения университетских научных школ (Магнитогорск, 2016, 2019-2021 гг.); «Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности – 2017» (Челябинск, 2017 г.); «Золото. Полиметаллы. XXI век» (Пласт, 2020 г., Челябинск, 2022 г.); на заседаниях

технических советов ГОП Рудник ПАО «ММК», Аккермановского рудника, АО «Орское карьерауправление», ОАО «Белсталь»; научно-технических семинарах докторантов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (Магнитогорск, 2015-2019 гг.), на научных семинарах НИИОГР (Челябинск, 2016-2022 гг.), ИПКОН РАН (Москва, 2022 г.).

Пользуясь случаем, автор выражает благодарность своему научному консультанту проф., докт.техн.наук Гавришеву С.Е. за постоянное внимание к работе и конструктивные рекомендации по выполнению исследований, проф. докт.техн.наук Калмыкову В.Н. за профессиональные консультации и обсуждение материалов работы, чл.-кор. РАН, докт.техн.наук Каплунову Д.Р. и проф., докт.техн.наук Рыльниковой М.В. за обсуждение и рекомендации по оформлению результатов работы, руководителям НИИОГР проф., докт.техн.наук Галкину В.А. и проф., докт.техн.наук Макарову А.М. за организованные семинары и обсуждения научных подходов, стимулировавших работу над диссертацией, профессорам, докторам технических наук Айнбиндеру И.И., Корнилову С.Н., Пыталеву И.А., Рахмангулову А.Н. за ценные советы по структурированию материалов работы, доц., канд.техн.наук Осинцеву Н.А. за сотрудничество в разработке критерия эффективности и выбору метода принятия решения, канд.техн.наук Кидяеву В.А. и Томилиной Н.Г. за помощь в организации и проведении исследований по отдельным разделам работы, доцентам, канд.техн.наук Заляднову В.Ю. и Цыганову А.В. за обсуждение материалов работы и ценные советы по отдельным формулировкам и выводам, инженеру Михайловой Г.В., горным инженерам Юсупову М.Э., Даутбаеву З.Р., Точилкиной В.В., Черненко С.Ю., Габбасовой Р.Р., Шавалиевой А.Р., Сандыреву Д.Д., Лукашевичу В.В. за помощь в сборе и обработке материалов, а также оформлении отдельных результатов исследований. Также автор благодарит весь коллектив кафедры разработки месторождений полезных ископаемых института горного дела и транспорта МТГУ им. Г.И. Носова за обсуждение материалов работы и создание атмосферы на кафедре, способствующей продуктивному проведению исследований.

1 АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ВСКРЫТИЯ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1 Анализ условий функционирования современных горнодобывающих предприятий и перспектив освоения крутопадающих месторождений

Минеральное сырье имеет первостепенное значение среди природных богатств, составляющих важнейшую основу экономического развития многих стран. Рынок минерально-сырьевой продукции горнодобывающих производств является стратегически важным для Российской Федерации [7].

Одним из самых сложных периодов для промышленных предприятий России за последние десятилетия был переходный период от плановой экономики к рыночной. О сложности и неоднозначности процессов, протекающих в данный период, говорит и тот факт, что были созданы специализированные институты экономики переходного периода, которые занимаются изучением переходных процессов [23]. Как отмечается в [144], данный период был отмечен обвальным спадом производства в горнодобывающей отрасли, в том числе неспособностью многих предприятий не только развиваться, но и функционировать в конкурентной рыночной среде. Горнодобывающие предприятия, преодолевшие данный переходный период, столкнулись с необходимостью постоянной адаптации под изменяющиеся внешние и внутренние условия их функционирования, чтобы быть конкурентоспособными как на внутреннем, так и на внешних минерально-сырьевых рынках.

К изменяющимся внутренним условиям относятся, в первую очередь, снижающееся качество добываемого сырья и ухудшение горнотехнических условий разработки месторождений. Соответственно требуется больше затрат энергии и ресурсов, чтобы обеспечить рынок продукцией соответствующего качества. Причем конкуренция на мировых рынках осложняется тем, что добыча аналогичных полезных ископаемых в разных странах производится в различных условиях. Так, например, среднее содержание железа на рудных месторождениях России составляет 37%, в то время как в Австралии - 61%, в Бразилии, Канаде, США – более 60%, на Африканском континенте 40-65%. С учетом того, что коэффициент вскрыши на карьерах нашей страны в 4 раза больше, чем в

вышеупомянутых странах, то становится очевидным, что для поддержания конкурентоспособности горной промышленности России ей приходится в 4-5 раз предпринимать больше усилий, т.е. производя 5,8% мировой продукции твердых полезных ископаемых, Россия добывает 27% мировой горной массы [249]. В разработку в нашей стране вовлекаются новые месторождения и отдельные участки с содержанием меди в руде 0,15-0,4%, с содержанием золота менее 1 г/т, свинцово-цинковые руды с содержанием 1,5-2%, по другим видам сырья наблюдается аналогичная тенденция снижения содержания полезного компонента в рудах. Помимо этого, отмечается, что содержание полезного компонента снижается с увеличением глубины ведения горных работ. В настоящее время текущая глубина ведения горных работ на ряде глубоких карьеров приблизилась к 600 м, проектные глубины карьеров достигают 700-850 м. Отмечается перспектива увеличения проектной глубины открытых горных работ до 1000 м и более [260, 293]. Параметры некоторых карьеров, разрабатывающих мощные и крутопадающие залежи полезного ископаемого, представлены в таблице 1.1.

В научной литературе понимание термина «глубокие карьеры» и связанного с ним «глубокие горизонты» различаются. Отличие состоит главным образом в том, что одни исследователи определяют глубокие карьеры по конечной глубине карьеров, а другие – по текущей. В зарубежных литературных источниках ориентируются преимущественно на конечную глубину, определяя карьеры с проектной глубиной более 400 м как глубокие карьеры [334]. Исследования особенностей вскрытия глубоких горизонтов карьеров и отработки месторождений глубокими карьерами отечественных ученых преимущественно ориентированы на диапазоны глубин от текущей до конечной. В [146], для условий подземной разработки, глубокими считаются рудники, на которых производятся горные работы на глубинах от 700 до 3350 м. В современных условиях, помимо подземного способа разработки, в данном диапазоне глубин производятся горные работы при комбинированной геотехнологии освоения месторождений с использованием вскрывающих выработок карьера для целей подземного рудника, а также предполагаются открытые горные работы на глубинах превышающих 700 м.

Таблица 1.1 – Параметры карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения

Карьер (месторождение)	Местонахождение	Вид добываемого полезного ископаемого	Годовая пр-ть по руде/горной массе, млн.т	Текущая глубина, м	Проектная глубина/перспективная глубина, м
Кумтор	Кыргызская республика	Золоторудное	8,6/108	510	650
Мурунтау	Узбекистан	Золоторудное	30/66,3	600	650/1000
Удачный	Россия, Якутия	Алмазы	6/22,5	610	630
Юбилейный	Россия, Якутия	Алмазы	6,1/н.д.	320	720
Горевский	Россия, Красноярский кр.	Свинцово-цинковое	2,5/н.д.	130	500
Восточный	Россия, Красноярский кр.	Золото	8/72	450	710/830
Титимухта	Россия, Красноярский кр.	Золото	2,4/н.д.	260	350
Ковдорское	Россия, Кольский п-ов	Магнетитовые, апатитовые руды	18,7/48,7	450	660/860
Качарское	Казахстан	Железная руда	23/138	442	767
Лебединское	Россия, Белгородская обл.	Железная руда	53,7/96,27	412	600
Михайловское	Россия, Курская обл.	Железная руда	46,5/123,4	350	400
Малый Куйбас	Россия, Челябинская обл.	Железная руда	2,4/23	250	310/370
Килембаевское	Россия, Оренбургская обл.	Хризотил-асбест	9,4/28,2	245	390
Джетыгаринское	Казахстан	Хризотил-асбест	4,1/11,3	290	634
Наталкинский	Россия, Магаданская обл.	Золото	18/62,2	100	585
Михеевское	Россия, Челябинская обл.	Медно-порфировые руды	18/35,1	210	358/538
Томинское	Россия, Челябинская обл.	Медно-порфировые руды	28/52	100	540
Удоканское	Россия, Забайкальский край	Медная дуда	47/245	-	950
Ак-Суг	Россия, Республика Тыва	Медно-молибденовая-порфировая	24/104	-	700
Светлинское	Россия, Челябинская обл.	Золоторудное	7,2/36,9	240	312/600

В исследованиях проф. Щелканова В.А. [244], обзор по вариантам вскрытия глубоких горизонтов выполнялся для глубин карьеров свыше 200 м, а разрабатываемые в ходе исследований технологические решения по вскрытию глубоких горизонтов карьера - для глубин 250-300 м и более. Решения по вскрытию глубоких горизонтов карьера в исследованиях проф. Четверика М.С. [232] также ориентированы на глубины свыше 200-250 м. В [198] проф. Саканцевым Г.Г. распределение глубоких рудных карьеров по глубине начинается со 100 м. В диссертации проф. Корнилкова С.В. [130] глубокими считаются карьеры, имеющие текущую глубину более 200-250 м. В работе [260] представлена систематизация карьеров, согласно которой карьеры в диапазоне глубин 200-400 м относятся к глубоким; 400-600 м – сверхглубоким; 600-800 м и более – суперглубоким. На основе обобщения данных литературных источников глубокими горизонтами в настоящей диссертации приняты горизонты карьера расположенные глубже 200 м. Именно с такой глубины карьеров многими исследователями выделяются особенности ведения горных работ, характерные для глубоких карьеров.

Переход горных работ на глубокие горизонты выявил определенные особенности вскрытия, ведения и развития горных работ. Например, в [234] на основе обобщения практики и анализа исследований отмечается, что на глубоких и сверхглубоких карьерах осложняется проветривание нижних горизонтов. При этом, в данных исследованиях указывается, что наибольший вклад в загрязнение атмосферы карьеров на нижних горизонтах оказывает карьерный автотранспорт. В исследованиях проф. М.В. Васильева [49], чл.кор. В.Л. Яковлева [256] говориться, что для карьера глубиной более 200–300 м, т.е. для глубоких карьеров, к моменту освоения проектной мощности невозможно создать транспортную систему, которая могла бы обеспечить эффективную разработку месторождения в течение всего срока службы карьера. В [261] говорится, что для понятия «глубокий карьер» глубина карьера не является единственной его характеристикой, что связано со значительными особенностями вскрытия и ведения горных работ на глубоких горизонтах. Рост глубины разработки при открытой и подземной добыче полезных ископаемых приводит к отрицательным последствиям. На открытых горных работах к таким последствиям относятся: увеличение коэффициентов вскрыши, рост затрат на транспортировку горной массы, водоотлив, проветривание,

увеличение крепости пород и, соответственно, рост затрат на подготовку пород к выемке, усложняются геомеханические условия разработки месторождений.

Увеличение коэффициента вскрыши на 1% приводит к снижению фондоотдачи на 0,5-0,6%; увеличение глубины с 200-250 м до 300-400 м, только из-за ухудшения условий транспортирования, приводит к росту себестоимости добычи на 10-15% и снижению производительности труда почти в 2 раза. При подземной добыче угля увеличение глубины с 500 до 1400 м приводит почти к пропорциональному увеличению трудоемкости, фондоемкости и себестоимости [249].

Изменяющимися внешними условиями функционирования горнодобывающих предприятий являются изменение спроса и цены на добываемые полезные ископаемые. Динамика цен на некоторые виды минерального сырья по данным [303] представлена на рис 1.1.



Рисунок 1.1 – Изменение цены на минерально-сырьевые ресурсы: а) динамика цен на железную руду, \$/т; б) динамика цен на медь, \$/т; в) динамика цен на уголь, \$/т; г) динамика цен на золото, \$

Анализ графиков показывает, что цены на золото, железную руду и медь

имеют тенденцию повышения. При этом, сравнивая пиковые и минимальные значения, видно, что цена на золото за последние 8 лет увеличилась практически в 5 раз, цена на железную руду за 6 лет снизилась почти в 4 раза, рост цен на медь в течение десятилетнего периода составил почти 10 раз. Цены на уголь имеют тенденцию снижения, при этом цены на данный вид сырья за последние 5 лет снизились более чем в 2 раза.

Развитие горнодобывающих компаний в условиях настолько значительных изменений на рынках минерального сырья достаточно сложно. В исследованиях [7] говорится, что такая ситуация на рынках сырья вызвана тем, что сырье торгуется по ценам, устанавливаемым мировым рынком, т.е. с верхней планкой, определяемой уровнем развития лидеров рынка в производстве и потреблении. И если у комбинатов, производящих продукцию из сырья горнодобывающих компаний, предельные затраты выше сложившегося мирового уровня, то предприятие становится неспособным приобретать сырье для производства. Для тех предприятий, которые сами разрабатывают месторождения, работа с высокими затратами за счет горного передела снижает эффективность работы рудников и возможность расширения и совершенствования сырьевой базы в конкурентной борьбе с другими недропользователями.

В то же время в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды горнодобывающие предприятия должны не просто существовать, а устойчиво развиваться.

На рис. 1.2 представлена динамика потребления рассмотренных выше минерально-сырьевых ресурсов.

Анализ данных графиков показывает, что по всем рассматриваемым видам сырья наблюдается рост добычи. Это объясняется тем, что при положительной конъюнктуре цен на рынках сырья предприятиям выгодно наращивать объемы производства для получения дополнительной прибыли, а при снижающейся цене предприятия компенсируют падение цен увеличенными объемами продаж при наличии спроса на продукцию.

Рост потребности в минерально-сырьевых ресурсах сопровождается снижением содержания полезного компонента в рудах. Данные по некоторым видам руд представлены на рис. 1.3 [174, 263].

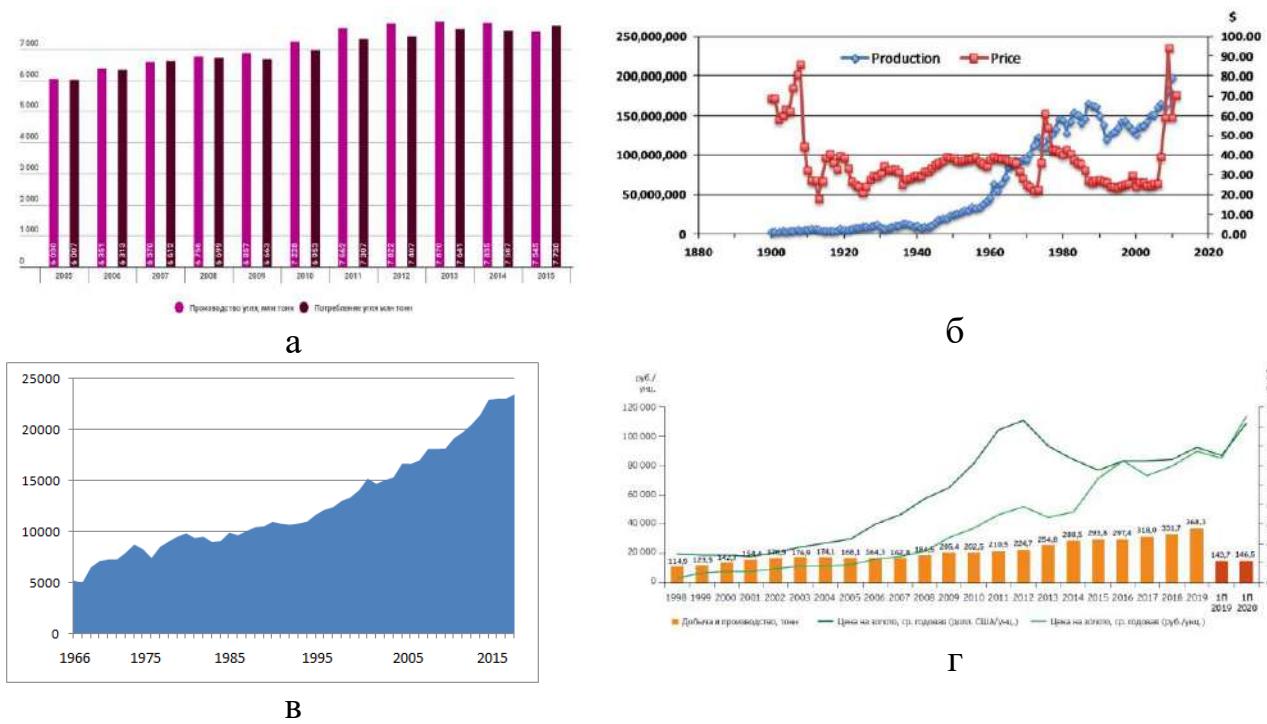


Рисунок 1.2 – Изменение спроса на минерально-сырьевые ресурсы: а) производство и потребление угля в мире, млн.т; б) производство и цена фосфоритовой руды, млн.т; в) производство и потребление меди в мире, тыс.т; г) производство и потребление золота в мире, млн.т

В условиях снижения содержания полезных компонентов, увеличивается интенсивность горных работ и производительность рудников по руде, а, соответственно, и сроки отдельных этапов отработки месторождений. При этом предприятия вынуждены активизировать эксплуатационную разведку с целью обеспечения возможности увеличения периода добычи полезного ископаемого на эксплуатируемом месторождении.

Возможности развития горнодобывающих предприятий на ближайшую и отдаленную перспективы в первую очередь зависят от наличия, объемов и условий залегания запасов разрабатываемых полезных ископаемых. Для многих крутопадающих месторождений доказано наличие запасов полезных ископаемых до глубины 700-1000 м и более еще на стадии предварительной разведки. В то же время уточнение свойств, объемов и условий залегания производится поэтапно в ходе эксплуатационной разведки при эксплуатации месторождения. Поэтому, глубокие карьеры, достигающие проектных глубин 500 м и более,

разрабатываемые, как правило, не менее 30 лет, в ходе эксплуатации претерпевают ряд реконструкций.

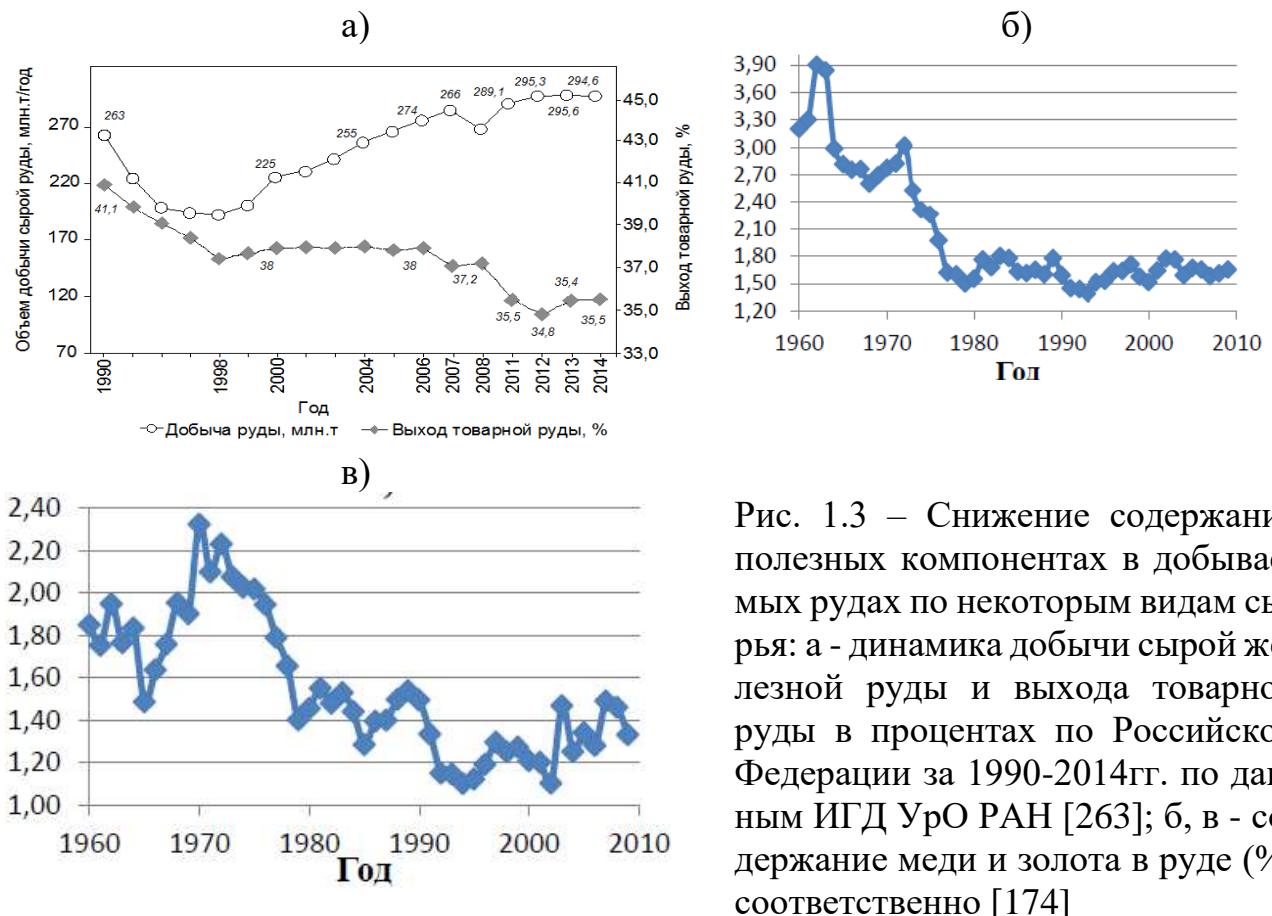


Рис. 1.3 – Снижение содержания полезных компонентов в добываемых рудах по некоторым видам сырья: а - динамика добычи сырой железной руды и выхода товарной руды в процентах по Российской Федерации за 1990-2014гг. по данным ИГД УрО РАН [263]; б, в - содержание меди и золота в руде (%) соответственно [174]

Реконструкции вызваны пересмотром контуров карьера по результатам эксплуатационной разведки, техническим перевооружением по отдельным технологическим процессам, изменениям системы вскрытия карьера, в ряде случаев изменением системы разработки (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Примеры реконструкций на горнодобывающих предприятиях

Наименование карьера (месторождения)	Тип добываемого полезного ископаемого	Количество реконструкций (проектов)	Сущность реконструкций	Изменение основных параметров и показателей	
				Глубина, м	Производительность, млн.т/год
Малый Куйбас	железная руда	2	увеличение глубины, корректировка контуров	165-315	1,9-2,5
Сибайский	медная руда	5	увеличение глубины, корректировка контуров	190-480	н.д.
Коркинский	уголь	7	изменение глубины	40-630	н.д.
Михеевский	медная руда	1	увеличение глубины, корректировка контуров	358-538	18-24
Учалинский	медно-колчеданная руда	3	увеличение глубины, корректировка контуров	380	1,8-4
Баженовский	хризотил-асбест	4	увеличение глубины, корректировка контуров,	350	4,6
Светлинский	золоторудное	2	увеличение глубины, корректировка контуров	60-312	7,2

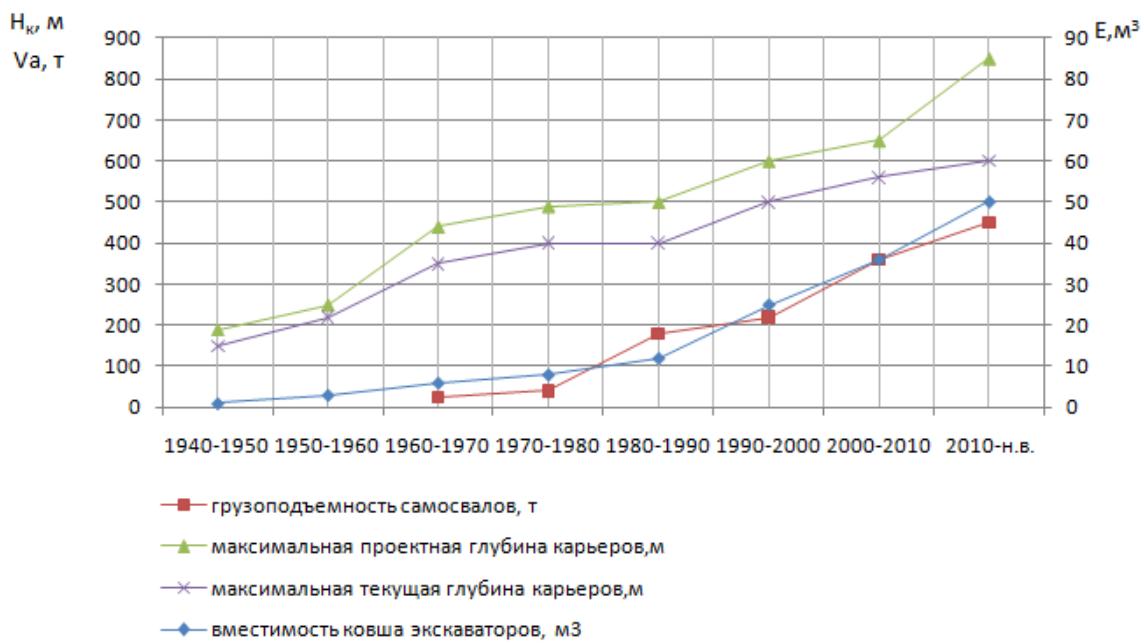


Рисунок 1.4 - Динамика изменения глубины карьеров и параметров применяемого оборудования: V_a – грузоподъемность автосамосвала, т; E – вместимость ковша экскаватора, $м^3$; H_k – глубина карьеров проектная, м.

Анализируя рис. 1.4, можно увидеть, что стремительный рост вместимости применяемых экскаваторов и грузоподъемности карьерных автосамосвалов начался в 80-х годах двадцатого столетия. В то время, как основные положения теории вскрытия карьерных полей, определения и классификации, учитывающие применение определенных видов транспортного оборудования на карьере, были сформулированы проф. Е.Ф. Шешко в 50-х годах и уточнены акад. В.В. Ржевским в 60-70-х годах. В данный период альтернатив выбора карьерного автомобильного транспорта на карьерах практически не было и параметры транспортных коммуникаций для автосамосвалов изменились в незначительном диапазоне.

Техническое перевооружение с увеличением единичной мощности карьерного оборудования производится чаще всего по всем технологическим процессам. Так для экскаваторов с большей вместимостью ковша требуются автосамосвалы большей грузоподъемности. Поэтому, для обеспечения эффективного и безопасного применения нового, более мощного оборудования, при реконструкции карьера необходимо изменять параметры рабочей зоны и пересматривать параметры схемы вскрытия. Исследования [314] показывают, что выбор оборудования с глубиной также определяется ценностью добываемого сырья.

Затраты на производство основных технологических процессов при разработке крутопадающих месторождений, по данным научной литературы и практики разработки месторождений, распределяются непропорционально [29, 37, 47, 81, 136, 187, 188] (рис. 1.5).

Такое распределение структуры затрат совпадает с данными зарубежных исследований, которые также отмечают преобладающую долю затрат на транспорт [329, 355]. Данные исследований представлены на рис. 1.6.

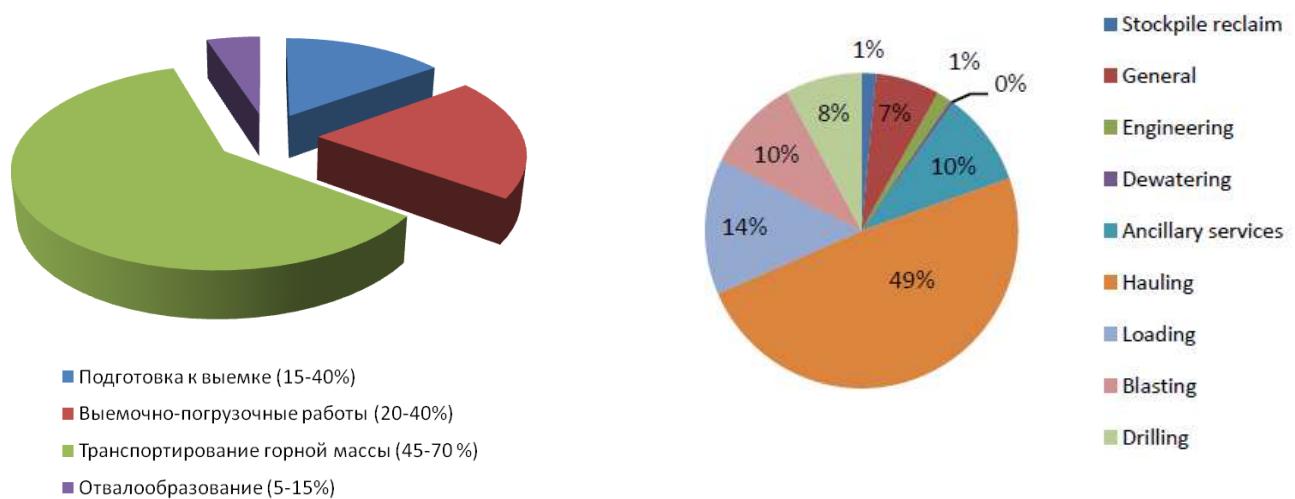


Рисунок 1.5 - Структура затрат на производство основных технологических процессов

Рисунок 1.6 - Структура затрат на производство основных технологических процессов по данным зарубежных исследований

С увеличением глубины открытых горных работ наибольший рост затрат наблюдается при транспортировании горной массы, по данным большинства исследователей затраты на транспорт для условий глубоких карьеров составляют 50-70% от общих затрат на разработку месторождения. В исследованиях [136] отмечается, что затраты на транспортирование могут достигать 90% от общих затрат на разработку месторождения при достижении глубины карьера 1000 м. Наибольшие значения затрат наблюдаются на карьерах с автомобильным видом транспорта и увеличиваются с ростом глубины открытых горных работ. Также в [136] показано, что затраты на остальные технологические процессы с ростом

глубины разработки изменяются менее интенсивно.

Рост грузоподъемности карьерных автосамосвалов, расширение модельного ряда у производителей карьерной техники, а также возрастающее количество компаний, присутствующих на рынке карьерных автосамосвалов, привел к тому, что у горнодобывающих предприятий появилось большое количество возможных альтернатив компоновки транспортной системы карьеров. По данным док. техн. наук Анистратова К.Ю. [12] основных мировых производителей карьерных самосвалов 9, данное количество не является постоянным и возрастает. На российском рынке помимо перечисленных в [12] появились карьерные самосвалы Volvo, самосвалы китайских производителей, проходит испытание карьерный самосвал КамАЗ, грузоподъемностью 60 т, а также в процессе транспортирования горной массы на карьерах достаточно широко используются самосвалы строительного типа. Количество возможных альтернативных вариантов по формированию транспортного комплекса на открытых горных работах возрастает. При этом для одинаковой глубины и производительности карьеров, как показывают исследования [366], возможное количество автосамосвалов может отличаться более чем в 10 раз (рис.1.7).

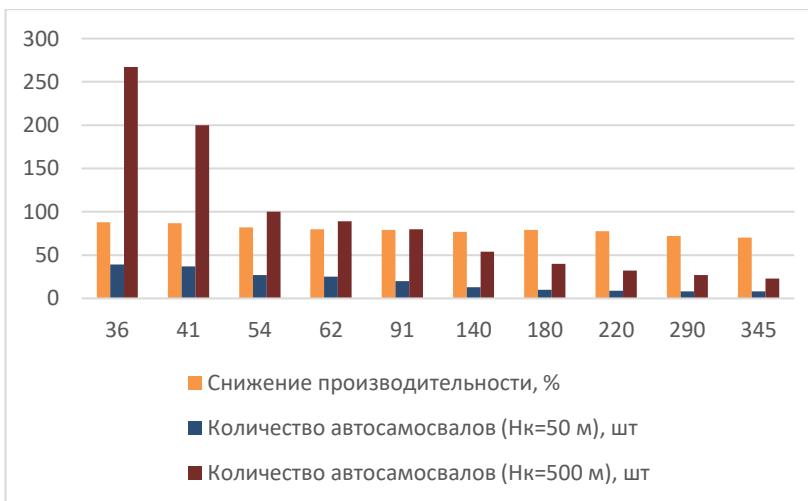


Рисунок 1.7 – Зависимость количества автосамосвалов различной грузоподъемности от глубины карьера

Для ряда действующих карьеров, на основе анализа проектной документации и исследовательских работ, было проведено распределение количества оборудования по основным технологическим процессам. Представленные на рис. 1.8 данные показывают, что количество транспорта в карьерах превышает в 2,1-3,7 раза количество всех остальных видов оборудования по основным

технологическим процессам, т.е. карьерный транспорт составляет основную долю оборудования в карьере.

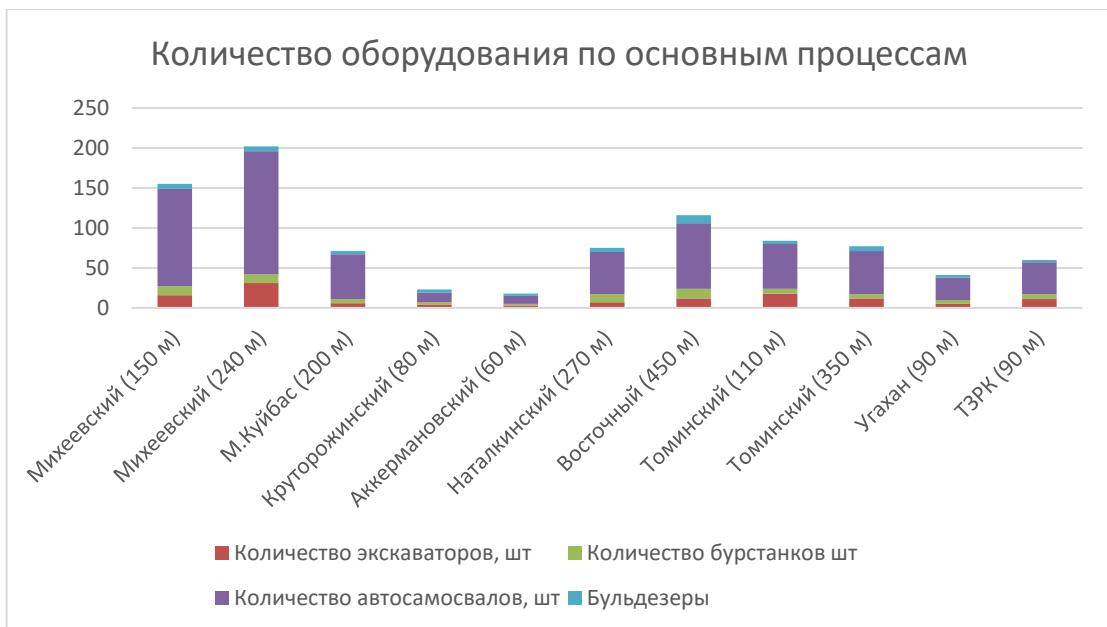


Рисунок 1.8 – Распределение численности оборудования в карьерах по основным технологическим процессам

Рост количества оборудования в карьере увеличивает негативное воздействие на окружающую среду. Особенно остро встают вопросы негативного влияния работы оборудования на атмосферу в глубоких карьерах. Основное негативное воздействие от карьерной техники заключаются в выбросах от работы двигателей внутреннего сгорания, пылении при выполнении технологических процессов. На рис. 1.9 представлено распределение выбросов от основного карьерного оборудования при производстве горных работ, для условий карьеров, рассмотренных на рис. 1.8. Данные показывают, что на долю карьерных автосамосвалов приходится от 60 до 75% объема выбросов. Полученные данные не учитывают объемы залповых выбросов при производстве взрывных работ, так как данные выбросы не являются постоянными и не влияют на работу персонала и техники в карьере. т.к. до полного рассеивания пыле-газового облака, после производства взрывных работ, возобновление работ в карьере не допустимо. Для условий применения в карьере электрических экскаваторов и буровых станков доля выбросов от карьерных автосамосвалов составит более 80%, поэтому именно карьерный транспорт оказывает наибольшее негативное воздействие на состав

атмосферного воздуха в карьере.

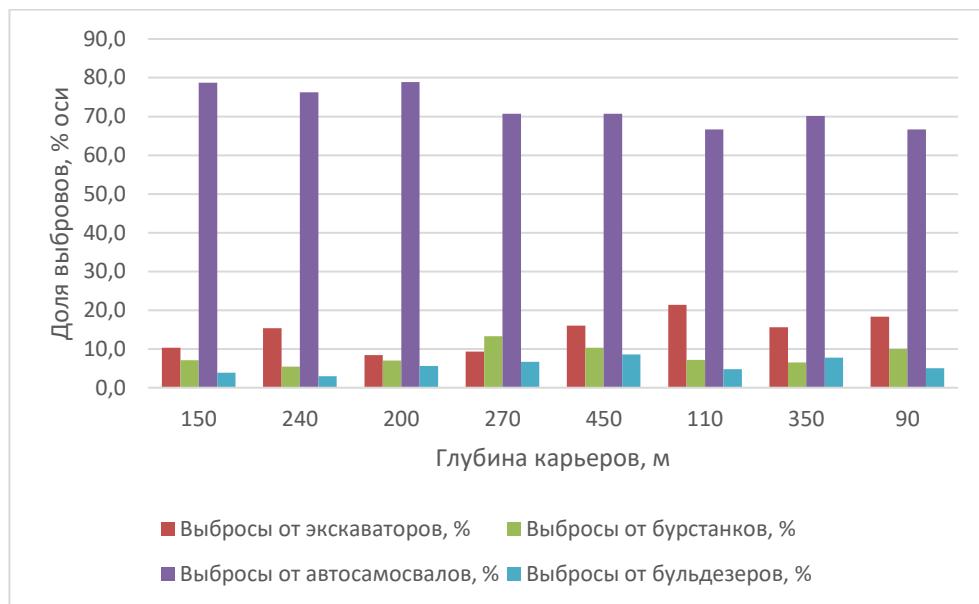


Рисунок 1.9 – Распределение выбросов загрязняющих веществ от работающего в карьере оборудования

Одним из решений по сокращению количества автосамосвалов в карьере, снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению эффективности освоения глубоких месторождений является внедрение и развитие схем с циклично-поточными технологиями (ЦПТ), предусматривающими использование автосамосвалов в качестве сборочного транспорта и доставку горной массы на поверхность различными подъемниками. В [346] выполнено моделирование реализации ЦПТ для условий глубоких карьеров с конечной глубиной до 700 м. При этом изменялось место расположения перегрузочного пункта по глубине. Зависимость, построенная по результатам данных исследований, представлена на рис. 1.10. Данный график показывает, что в зависимости от глубины карьера реализация ЦПТ в карьере позволяет сократить количество автосамосвалов на 15-80%. Максимальное сокращение доли автотранспорта наблюдается при глубине карьера до 700 м и расположением перегрузочных пунктов в нижней части карьера.

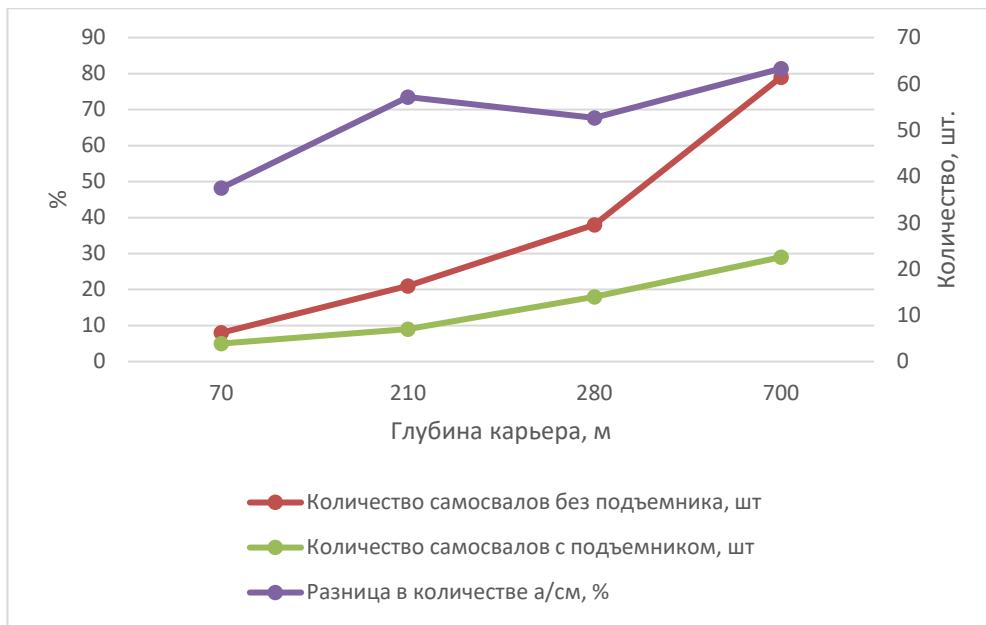


Рисунок 1.10 – Изменение количества автосамосвалов с глубиной карьера при ЦПТ

Увеличение затрат на транспорт подразумевает не только рост эксплуатационных затрат, вызванных увеличением расстояния транспортирования, но также рост капитальных затрат на приобретение дополнительной техники и формирование вскрывающих выработок.

Исследования по оценке влияния схемы вскрытия на параметры карьеров, выполненные проф., док. техн. наук О.В. Шпанским [242, 243], показали, что схема вскрытия оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели функционирования карьера. Результаты исследований по некоторым анализируемым проф. О.В. Шпанским карьерам были переработаны в гистограммы и представлены на рис. 1.11. Анализ данных рис. 1.11. показывает, что влияние схемы вскрытия на основные объемы выемки вскрытых пород и соответственно средний коэффициент вскрыши достаточно существенно. Влияние схемы вскрытия возрастает с увеличением глубины карьеров. Так увеличение объемов выемки вскрытых пород для размещения на борту карьера глубиной 210 м вскрывающих выработок составит 26,0%, а для карьера глубиной 570 м данное увеличение уже составит 34,0%.

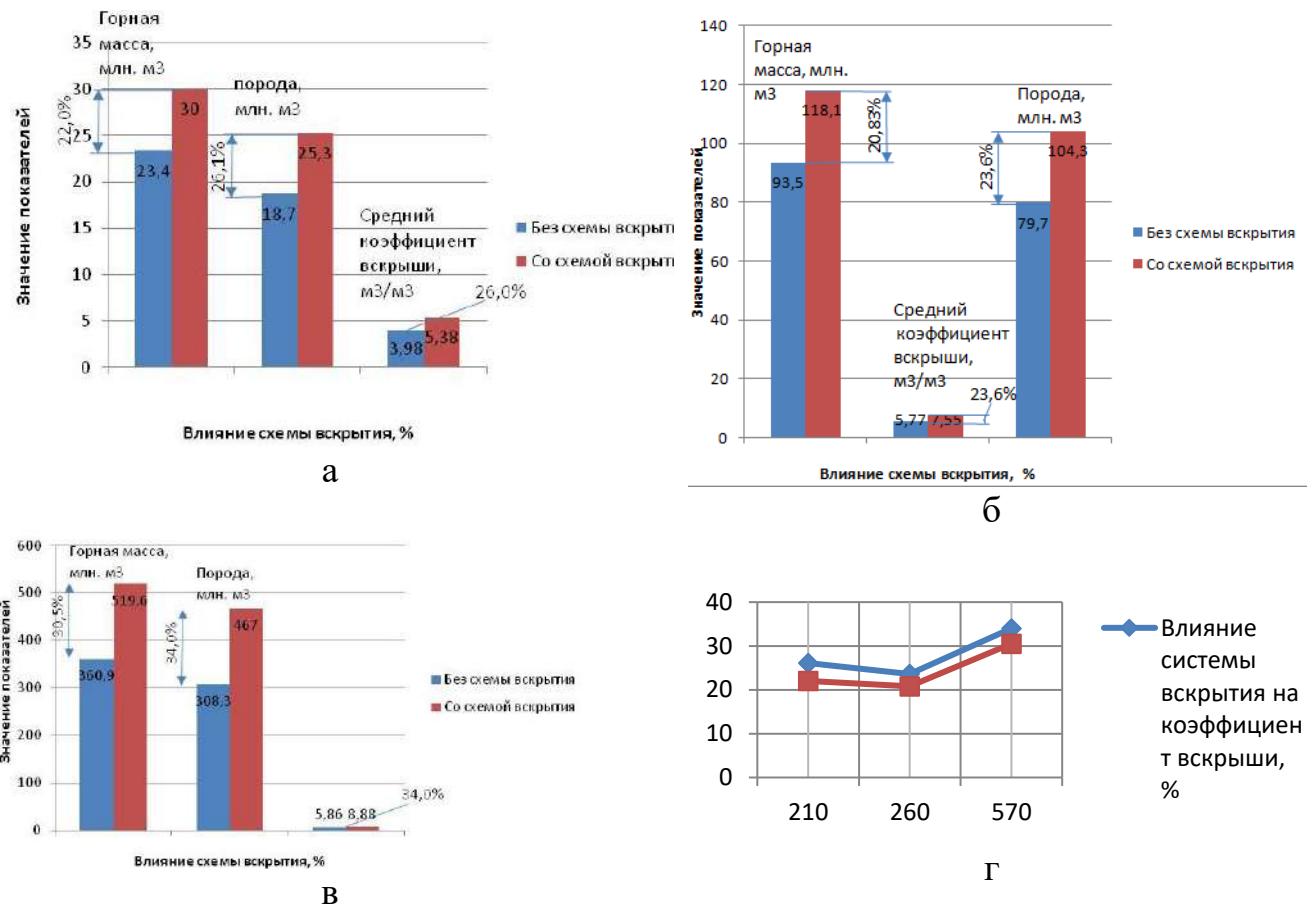


Рисунок 1.11 – Влияние схемы вскрытия на параметры карьеров Оленегорского ГОКа: а) карьер Куркенпахк (глубина 210 м); б) карьер XV-летия Октября (глубина 260 м); в) карьер Комсомольский (глубина 570 м); г) итоговый график по карьерам

Таким образом, с увеличением глубины открытых горных работ, при разработке крутопадающих месторождений, вопросы вскрытия и связанной с ними проблемы повышения эффективности карьерного транспорта становятся особенно актуальными, и от решения данных вопросов во многом будет зависеть целесообразность перехода на последующие этапы разработки и эффективность отработки последующего этапа.

1.2 Анализ научно-методической базы вскрытия глубоких горизонтов крутопадающих месторождений и формирования карьерных грузопотоков

Вопросам вскрытия месторождений и обоснования параметров горнотехнических систем при открытом способе разработки посвящены работы ведущих ученых: академиков Мельникова Н.В., Мельникова Н.Н., Ржевского В.В.,

Трубецкого К.Н., член-корр. Яковлева В.Л., проф. Анистратова Ю.И., Арсентьева А.И., Боголюбова Б.П., Бунина Ж.В., Васильева М.В., Гавришева С.Е., Галиева С.Ж., Галкина В.А., Галкина В.И., Зотова А.П., Зуркова П.Э., Зырянова И.В., Калмыкова В.Н., Коваленко В.С., Колесникова В.Ф., Корнилкова С.В., Косолапова А.И., Кулешова А.А., Кулешова Н.А., Лель Ю.И., Новожилова М.Г., Потапова М.Г., Размыслова Ю.С., Решетняка С.П., Саканцева Г.Г., Саканцева М.Г., Смирнова В.П., Соколовского А.В., Спиваковского А.О., Супрун В.И., Фаддеева Б.В., Фомина С.И., Ханзина М.Л., Холоднякова Г.А., Хохрякова В.С., Четверика М.С., Шешко Е.Ф., Шилина А.Н., Шпанского О.В., Щелканова В.А., Юматова Б.П. и других ученых.

Ведущее место в развитии теории вскрытия месторождений при открытом способе разработки принадлежит профессору Е.Ф. Шешко [236]. Он внес значительный вклад в изложение научных основ вскрытия карьерных полей, одной из основных проблем ОГР. Его определение вскрытия месторождения, как «... установление грузотранспортной связи между горизонтами его разработки и техническими сооружениями на поверхности и в карьере», выдержало проверку временем и практика открытой разработки, особенно глубокозалегающих месторождений, подтвердила определяющую роль карьерного транспорта в обеспечении больших масштабов открытых горных разработок, интенсивности развития горных работ и в целом их экономичности [251].

Развитие теории вскрытия карьерных полей получило в трудах академиков Мельникова Н.В. [153, 154], Ржевского В.В. [188, 189], Трубецкого К.Н. [216, 217], профессоров Арсентьева А.И. [16], Новожилова М.Г. [162, 163], Колесникова В.Ф. [127], Шешко Е.Ф. [236], Шорохова С.М. [241] и др. ученых.

В данных исследованиях дополнялось понятие «вскрытия месторождения», уточнялись классификации способов и схем вскрытия.

Исследуя вопросы вскрытия месторождений, оперируют такими понятиями, как способ вскрытия, схема вскрытия и система вскрытия. Данные понятия развивались, дополнялись и корректировались в ходе развития теории вскрытия.

Так, опираясь на результаты ранее выполненных исследований

применительно к теории проектирования карьеров, в [216] приводятся следующие определения данных понятий:

Вскрытие месторождения – это проведение горных выработок и транспортных коммуникаций между рабочими горизонтами карьера и пунктами приема горной массы в карьере и на поверхности, создание первоначального фронта горных работ и установленного объема вскрытых запасов, а также их развитие и воссоздание в процессе разработки месторождения для обеспечения выемки и перемещения из карьера вскрытых пород и полезных ископаемых в необходимых объемах с установленной интенсивностью в течение всего периода работы карьера.

Способ вскрытия – это комплекс вскрывающих горных выработок и сооружений на карьере, характеризуемый их структурой, конструкцией, количеством, пространственным положением, динамичностью.

Большой анализ развития теории вскрытия месторождений, классификаций способов вскрытия выполнен Колесниковым В.Ф. [127].

По результатам анализа Колесников В.Ф. сделал вывод, что такие классификационные признаки, как наличие и вид вскрывающих выработок, имеются у всех авторов, данные признаки предложено оставить для классификаций способов вскрытия.

Схема вскрытия – это совокупность горных выработок и сооружений с транспортными коммуникациями, обеспечивающими в данный период времени грузотранспортную связь рабочих горизонтов карьера с пунктами приема и перегрузки горной массы в карьере и на поверхности.

Схема вскрытия характеризуется видом, числом и пространственным положением трасс и вскрывающих выработок при определенном положении горных работ или, иначе, при развитии горных работ в любой календарный период строительства и эксплуатации карьера.

Система вскрытия (генеральная схема вскрытия) – это порядок и последовательность поэтапного создания и изменения (развития) схемы вскрытия за период существования карьера, обеспечивающие вскрытие рабочих горизонтов до его рабочей глубины. Система вскрытия характеризует совокупность

применения комбинации способов вскрытия рабочих горизонтов во времени и по этапам в пространстве карьерного поля за период разработки месторождения в целом. У академика В.В. Ржевского [188] под данным определением понималась система вскрывающих трасс.

В более поздней версии данного издания [217], определения схемы, способа и системы изменяются.

Термин «схема вскрытия» по смысловому содержанию выражает идею осуществления грузотранспортной связи между действующими забоями и пунктами приема горной массы, спроектированной на весь период отработки месторождения, начиная с момента горно-строительных работ. Она может быть представлена в виде плана размещения транспортных коммуникаций карьера с обозначением их грузотранспортных характеристик и координатных привязок отдельных элементов по периодам развития горных работ.

Схема вскрытия служит основой для разработки системы вскрытия и транспортной системы карьера, включающей систему вскрывающих трасс.

Под системой вскрытия понимается совокупность горных выработок и транспортных коммуникаций, обеспечивающих грузотранспортную связь рабочих горизонтов карьера с пунктами приема и перегрузки горной массы в карьере и на поверхности, а также порядок их создания, соответствующий принятой схеме вскрытия и увязанной во времени и пространстве с календарным планом разработки месторождения.

В [217] отмечается, что для глубоких карьеров формирование системы вскрытия практически завершается только к моменту начала отработки последних по глубине горизонтов. Это обстоятельство вызывает необходимость в рассмотрении промежуточных (для характерных этапов) схем вскрытия в увязке их между собой, а главное - с учетом схемы вскрытия всего карьерного поля к окончанию его отработки.

Под способом вскрытия понимают комплекс горных работ по созданию и развитию системы наклонных, разрезных траншей и транспортных коммуникаций, необходимых для реализации схемы вскрытия и календарного плана разработки.

Исходя из вышерассмотренных определений понятно, что вскрытие осуществляется для создания грузотранспортной связи – осуществления грузопотоков, подразумевая использование конкретного вида транспорта.

Выполненный анализ научно-методической базы по вскрытию месторождений показал, что выбранный способ и схема вскрытия оказывают существенное влияние на параметры глубоких карьеров, а соответственно и на затраты на открытый способ разработки. Анализ развития теории, в том числе классификаций способов вскрытия, показывает, что основными классификационными признаками являются наличие и вид вскрывающих выработок. Способы вскрытия отражают сущность процесса вскрытия, а его форму – схемы. Способ вскрытия показывает – чем осуществляется вскрытие рабочих горизонтов, схема вскрытия – как осуществляется перемещение груза в пространстве при том или ином способе в конкретный период эксплуатации карьера, а система вскрытия – развитие схемы вскрытия по этапам разработки вплоть до погашения открытых горных работ. В [188] отмечается, что варианты способов вскрытия, схем и систем вскрывающих трасс (систем вскрытия) в целом оцениваются по видам, числу и объему вскрывающих выработок, затратам на их проведение, по продолжительности строительства карьера и подготовки отдельного горизонта, по расстоянию транспортирования, расходам на транспорт, использованию этих выработок при подготовке к последующей подземной разработке. Система вскрытия на глубоких карьерах развивается в течение всего периода разработки, вплоть до вскрытия самого нижнего горизонта.

С переходом горных работ на глубокие горизонты повышается чувствительность влияния параметров карьерного транспорта на параметры схем вскрытия. При изменении моделей транспортных средств и соответствующего пересмотра потребной ширины транспортных берм меняется конструкция нерабочего борта карьера, при необходимости увеличения ширины транспортных коммуникаций объемы разносов бортов глубоких карьеров могут достигать 50-80 млн. м³ и более. Приведение такого борта в состояние, позволяющее безопасно эксплуатировать новый транспортный комплекс, может занять продолжительный

период, в течение которого может произойти снижение производительности по руде и даже временное прекращение добычных работ на карьере. При проектировании вскрытия и выбора карьерного транспорта для условий глубоких карьеров не однозначно решается вопрос, что первично выбор варианта вскрытия или вида и модели карьерного транспорта? Если ориентироваться на алгоритм проф. Хохрякова В.С. [226], то первоначально определяются со вскрытием, в дальнейшем с выбором транспорта, при этом данные блоки связаны прямыми и обратными связями. Но без принятия решения по виду карьерного транспорта невозможно определиться с выбором способа вскрытия. Например, в условиях вскрытия глубоких горизонтов для специальных способов вскрытия крутонаклонными съездами [5] или подземными выработками [4] проектные параметры вскрывающих выработок определяются на основе рабочих параметров применяемых самосвалов. Такие решения должны рассматриваться системно, оптимизируя параметры каждого элемента системы с учетом взаимосвязей между ними.

Увеличение затрат на транспортирование горной массы, а также сложность вскрытия глубоких горизонтов, ведет к созданию и внедрению на карьерах новых типов известных видов транспорта, размещение которых на борту и в пространстве карьера не предполагает использование вскрывающих выработок. Поэтому, для описания способов и схем вскрытия с использованием данных видов транспорта не подходит ни один известный способ вскрытия. Понятие системы вскрытия в существующей трактовке также опирается на классическую терминологию и описание схемы и способа вскрытия.

На всех этапах система вскрытия должна обеспечивать эффективную работу транспорта для осуществления грузопотоков, обеспечивающих проектную производительность горнодобывающего предприятия.

Проблемам выбора и эксплуатации карьерного транспорта и формирования грузопотоков посвящены работы таких отечественных ученых, как: член-корр. докт. техн. наук Яковлев В.Л., доктора технических наук Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю., Бахтурин Ю.А., Боголюбов Б.П., Бунин Ж.В., Васильев М.В.,

Гавришев С.Е., Галкин В.А., Довженок А.С., Зотов А.П., Зурков П.Э., Истомин В.В., Калашников А.Т., Кулешов А.А., Лель Ю.И., Новожилов М.Г., Потапов М.Г., Размыслов Ю.С., Решетняк С.П., Ржевский В.В., Смирнов В.П., Спиваковский А.О., Сытенков В.Н., Томаков П.И., Четверик М.С., Шапарь А.П., Юматов Б.П. и др.; и таких зарубежных ученых как: Bodziony P., Greenberg H., Havalbolat K., Kizil M. S., Knights P., Marcos G., Nanzad C., Paelke J.W., Soofastsei A, Sassos M.P., Temeng V. Wenli F., Zhigang L. и др.

Как говорилось выше, вопросы применения карьерного транспорта и вскрытия месторождений тесно связаны. Способ и схема вскрытия предусматривает использование определенных видов транспорта (колесных или подъемников). Карьерные грузопотоки осуществляются по вскрывающим выработкам.

Основные функции по перемещению грузов выполняет внутрикарьерный транспорт. При значительных глубинах, характерных при длительной разработке крутопадающих месторождений, работа внутрикарьерного транспорта приобретает свою специфику [49]:

- 1) значительно увеличиваются расстояния транспортирования горной массы на поверхность;
- 2) из общей длины транспортных коммуникаций резко возрастает составляющая движения самосвалов по наклонным выработкам на подъем;
- 3) возникает необходимость применения нескольких видов транспорта для более рационального разделения функций;
- 4) ограниченность фронта работ затрудняет маневренность при производстве транспортных операций;
- 5) происходит более частое перемещение транспортных коммуникаций, пунктов перегрузки внутри карьера и т. д.;
- 6) усложняются обслуживание и ремонт транспортных средств, вызванные нецелесообразностью выдачи всего оборудования на поверхность.

На глубоких карьерах наибольшее распространение получили три вида транспорта: автомобильный, железнодорожный и конвейерный.

Однако на глубоких карьерах такие виды транспорта, как железнодорожный и конвейерный, не могут использоваться самостоятельно, а эффективность применения автотранспорта значительно снижается с ростом глубины открытых горных работ. Для использования преимуществ отдельных видов транспорта и устранения недостатков при вскрытии глубоких горизонтов карьеров переходят на комбинированные виды транспорта. Целесообразность применения комбинированных видов транспорта исследовалась многими учеными, которые рассматривали необходимость его использования в пределах разработки запасов в контуре карьера.

В последнее время отмечается снижение доли применения железнодорожного транспорта. За последнее десятилетие не было построено ни одного крупного карьера, предусматривающего применение железнодорожного транспорта для доставки горной массы из карьера. Железнодорожный транспорт используется только на уже действующих карьерах, где он был введен в эксплуатацию еще в прошлом столетии. Исследователями ИГД УроРАН [252, 257] отмечалось, что для увеличения доли применения железнодорожного транспорта в глубоких карьерах необходимы конструктивные решения, позволяющие применять их на более крутых уклонах. По факту, в настоящее время, никаких существенных модернизаций на данном виде карьерного транспорта не реализовано. На предприятиях, использующих карьерный железнодорожный транспорт, наблюдается тенденция снижения доли железнодорожных перевозок. Поэтому данный вид транспорта не является объектом дальнейших исследований в данной диссертационной работе. Дальнейшие исследования выполнялись для условий применения карьерных подъемников в комбинации с автомобильным транспортом. В данной работе рассматриваются следующие виды карьерных подъемников, как средства доставки грузов из пространства карьера на поверхность: ленточные конвейеры обычного исполнения, расположенные в крутой траншее, галерее, наклонном стволе, пройденном из борта карьера на поверхность (угол наклона конвейера до 18 град); ленточные конвейеры со специальными лентами, расположенными под углами более 18 град; крутонаклонные конвейеры с прижимными лентами; склоновые карьерные подъемники, перемещающиеся по рельсовому пути, расположенному в крутой траншее, либо на опорах,

расположенных на борту карьера; вертикальные скиповые подъемники расположенные в стволе; вертикальные конвейерные системы типа Pocketlift (PocketRope), расположенные в подземных выработках, шевронный трубчатый конвейер «Chevron-MegaPipe Conveyor».

Анализ применения подъемников, выполненный в [100] показывает, что для всех рассмотренных типов подъемников, наблюдается снижение производительности с увеличением глубины их ввода в карьер. Результаты анализа представлены на рис. 1.12.

Очевидно, что данные исследования выполнены для скиповых подъемников, производительность которых во многом зависит от глубины расположения перегрузочных пунктов относительно поверхности. Дальнейший анализ показал, что для подъемников, оснащенных конвейерными лентами различных типов, глубина расположения перегрузочного пункта в карьере не оказывает прямого влияния на их производительность.

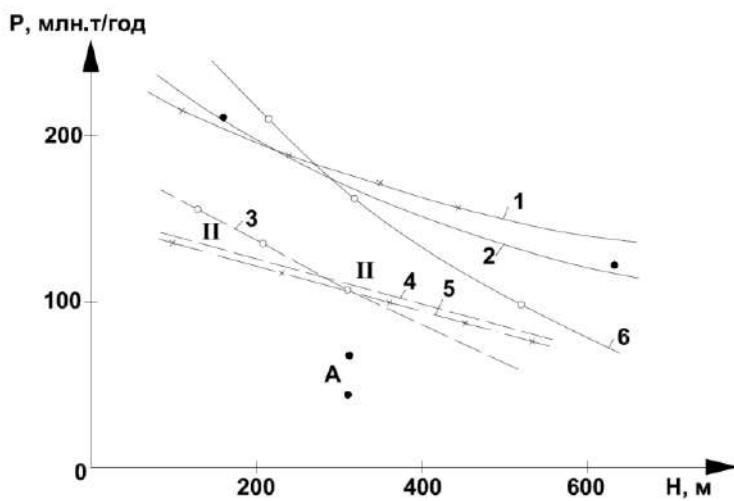


Рисунок 1.12 - Изменение производительности подъемников в зависимости от глубины их ввода в карьер: 1, 2, 3 - соответственно, по данным проф. А.А. Кулешова, фирмы СИМАГ, проф. Ю.В. Демидова; 4, 5 - по проектным проработкам для руды и вскрыши (грузоподъемность самосвала 120т); 6 - для вертикальных скиповых подъемников (грузоподъемность скипа 80 т), т.А - по данным работы [96]

М.В. Васильевым [47, 49] были проведены исследования изменения экономических показателей транспортирования полезного ископаемого для различных видов карьерного транспорта при увеличении глубины карьера. При автомобильно-конвейерном и автомобильно-скиповом транспорте затраты на доставку горной

массы на поверхность при больших допустимых уклонах трассы с ростом глубины карьера увеличиваются незначительно и имеют наименьшую величину (рисунок 1.13а). Удельная трудоемкость при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте также имеет наименьшую величину (рисунок 1.13б).

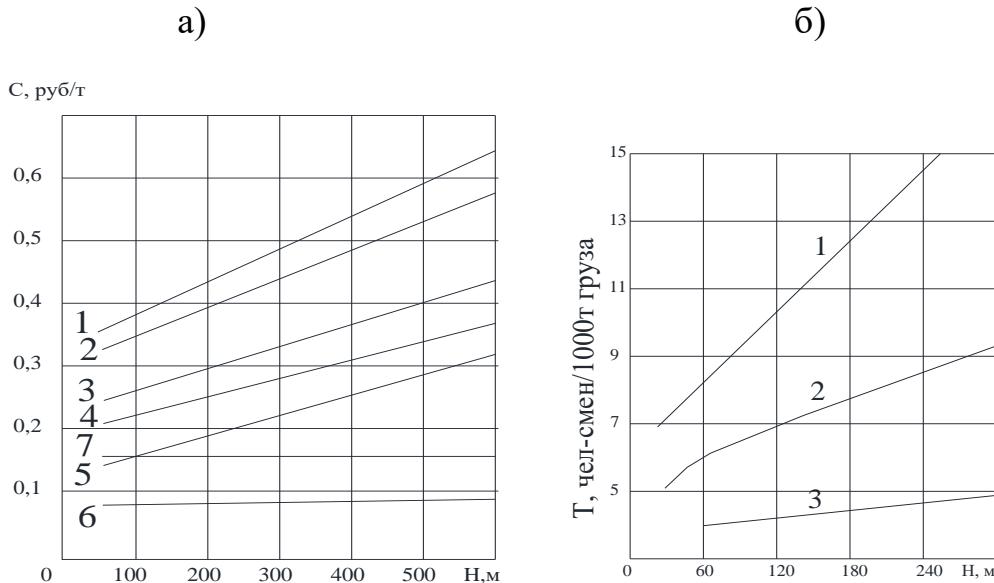


Рисунок 1.13 - Зависимость затрат на транспортирование 1 т полезного ископаемого от глубины карьера (а) и удельной трудоемкости от глубины карьера (б). На рисунке: а) 1, 2, 3 - автотранспорт; 4 - железнодорожный транспорт; 5 - автомобильно-железнодорожный транспорт; 6 - автомобильно-конвейерный; 7 - автомобильно-скиповной; б) 1 - железнодорожный транспорт, 2 -автомобильный транспорт; 3 - автомобильно-конвейерный транспорт

В.А. Щелкановым были рассмотрены вопросы транспортирования руды из карьера с использованием подземных выработок, что, по его мнению, позволяет сократить длину транспортирования в 2,0-2,5 раза. Однако данные схемы вскрытия обладают такими недостатками, как: длительные сроки строительства, высокие капитальные затраты, отсутствие возможности на карьере самостоятельной проходки подземных выработок. Поэтому можно сказать, что автомобильно-конвейерный транспорт по борту карьера является одним из наиболее эффективных вариантов в сравнении с транспортированием руды по подземным выработкам [152] (рисунок 1.14).

На многих рудных карьерах по мере увеличения глубины в процессе эксплуатации производится полное или частичное изменение технологических схем, способов вскрытия, расширение проектных контуров, замена оборудования более совершенным и ряд других работ, выполнение которых приводит к реконструкции горного предприятия [152, 246, 113].

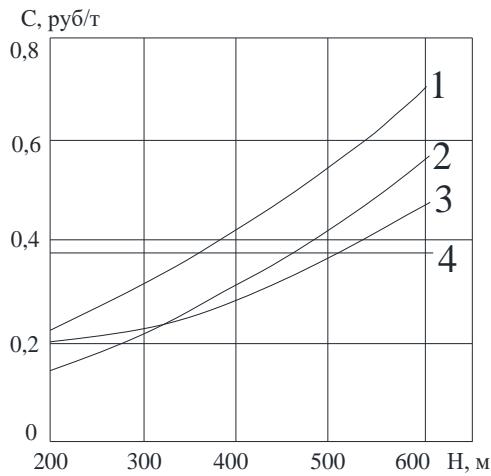


Рисунок 1.14 - Зависимости приведенных затрат на транспортирование 1 т руды от глубины карьера: 1 – скиповой подъем в вертикальном стволе, 2 – автомобильно-конвейерный транспорт по борту карьера, 3 – автомобильно-конвейерный транспорт в наклонном стволе, 4 – автомобильно-железнодорожный транспорт в тоннелях

Необходимость замены горнотранспортного оборудования новым, более совершенным, возникает при продолжительной эксплуатации крупных рудных карьеров вследствие физического и морального износа, ростом затрат на разработку месторождения усложняющимися экологическими условиями производства горных работ, особенно на глубоких горизонтах. Замена транспортного оборудования осуществляется также при достижении глубины карьера, при которой ограничивается рациональная область применения принятых ранее средств транспорта. На рис. 1.15 показаны зоны рационального применения трех основных видов транспорта в глубоких карьерах по М.В. Васильеву. В дальнейшем данные исследования были расширены В.Л. Яковлевым с учетом производительности карьеров, а также применением специализированных видов карьерного транспорта для перемещения горной массы с нижних горизонтов сверхглубоких карьеров (рис. 1.16).

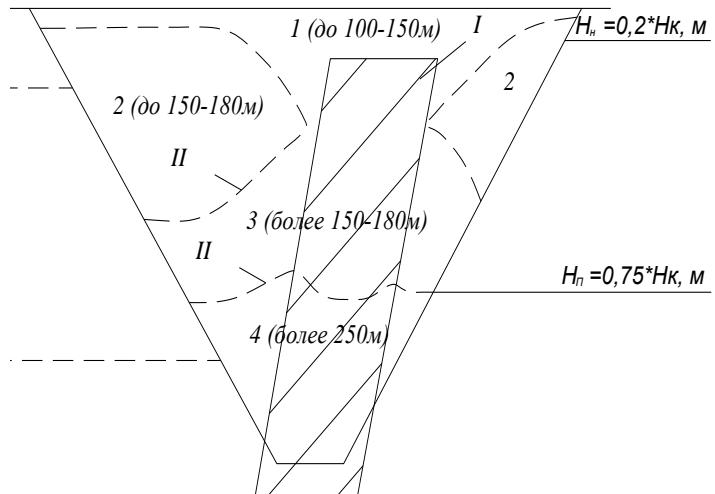


Рисунок 1.15 - Зоны рационального использования различных видов транспорта в карьере [47, 49]: 1, 2, 3, 4 — соответственно, для автомобильного, железнодорожного, автомобильно-железнодорожного, автомобильно-конвейерного транспорта; I — полезное ископаемое; II — границы перехода на новые виды транспорта, H_n и H_p — соответственно, начальная и предельная глубина перехода на автомобильно-конвейерный и автомобильно-скиповую транспорт при открытой разработке месторождений.

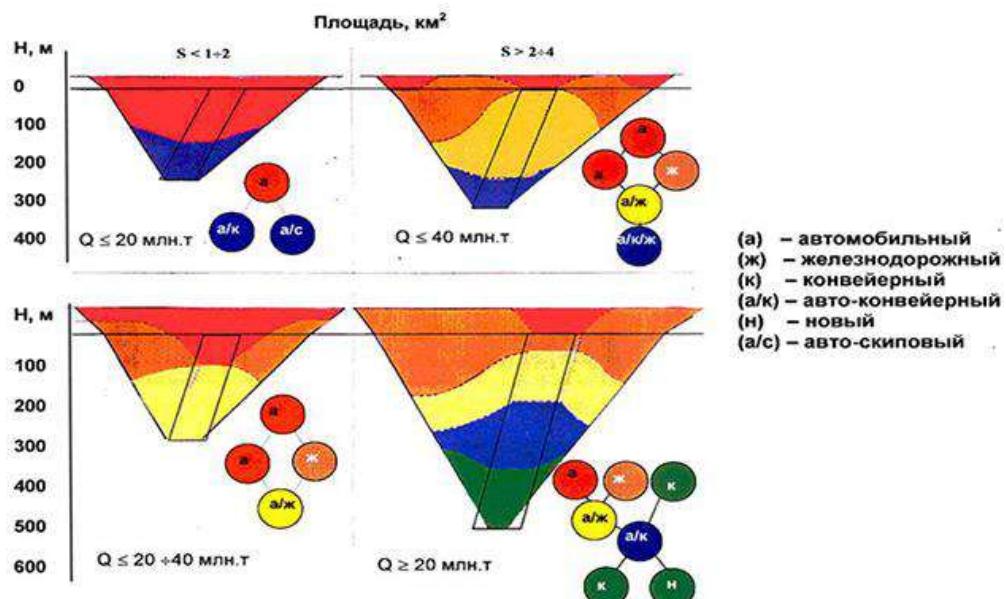


Рисунок 1.16 – Зоны применения видов карьерного транспорта по В.Л. Яковлеву [252]

В тоже время разработать универсальные аналитические модели перехода на новые виды и модели транспорта для условий освоения глубоких горизонтов достаточно сложно. Специфика производства работ на больших глубинах предопределяет необходимость многофакторного подхода к решению данных задач.

Известны в практике случаи, когда оправданное с экономической точки зрения перенос перегрузочных пунктов по глубине карьеров не были реализованы из-за влияния различного рода других внешних и внутренних факторов, например не было реализовано предварительное решение дважды понизить перегрузочный пункт на Сибайском карьере.

В настоящее время зоны применения различных видов карьерного транспорта также могут быть уточнены. Например, производители карьерных подъемников уже сейчас разработали транспортные комплексы на основе конвейеров, способные доставлять горную массу с глубины карьеров до 700 м и обеспечивать производительность около 100 млн. м³/год [156]. Также упрощает задачу обоснования предельной глубины использования подъемников, их каскадное размещение на борту карьера [336].

Мероприятия, связанные с заменой горнотранспортного оборудования и переходом на более совершенные варианты вскрытия месторождений, представляют особый вид реконструкции рудных карьеров - техническое перевооружение и совершенствование технологических процессов. Это направление включает: внедрение новой горной техники; переход на более совершенные виды транспорта с соответствующим изменением параметров системы вскрытия месторождений.

Факторы, вызывающие необходимость перехода на другие виды транспорта в [49], подразделяются на зависимые и независимые от транспорта (таблица 1.3).

Таблица 1.3 - Факторы, вызывающие необходимость перехода на другие виды транспорта, применяемого на данном предприятии [49]

Факторы			
Независимые от транспорта		Зависимые от транспорта	
Изменение горнотехнических условий разработки месторождения	Совершенствование техники и технологии смежных процессов	Ухудшение показателей работы транспорта, применяемого на карьере	Технический прогресс в создании новых средств транспорта
Расширение границ разработки; увеличение глубины карьера и дальности транспортирования; уменьшение рабочей зоны карьера; увеличение производственной мощности карьера	Изменение системы разработки; технология усреднения и переработки полезного ископаемого; замена погрузочного и дробильно-обогатительного оборудования	Увеличение себестоимости транспортирования; снижение производительности погрузочного и транспортного оборудования; недостаточная пропускная способность; низкая производительность труда	Создание новых высокопроизводительных транспортных средств; необходимость повышения надежности технологической схемы; создание более благоприятных условий на карьере

Переход на новый вид или тип транспорта происходит не мгновенно, а в течение определенного периода. В данный период формируется новая схема вскрытия с новыми параметрами или происходит развитие системы вскрытия.

Одним из важнейших факторов, влияющих на увеличение себестоимости разработки и снижение целесообразности использования действующего вида транспорта, является рост глубины карьеров.

В целях снижения капитальных и эксплуатационных затрат на добычу полезных ископаемых в глубоких карьерах стремятся применять такие виды транспорта, которые позволяют сократить длину транспортных коммуникаций или использовать специальные средства, обеспечивающие подъем горной массы из карьера по наикратчайшему пути. В качестве таких средств для случаев, когда непосредственная транспортировка добытой горной массы из глубоких карьеров становится затруднительной и дорогостоящей, применяют наклонные или вертикальные подъемные установки – конвейерные или скиповые подъемники, расположенные на борту карьера или в стволах [18,29,33,45,46,74,100,101,105, 125,131, 142,248,250, 256, 258, 259, 277]. Опыт применения скипового транспорта, расположенного на борту карьера, в нашей стране ограничился Сибайским карьером, которым разрабатывались крутопадающие рудные залежи, несмотря на ряд неоспоримых преимуществ данного вида транспорта, перед конвейерным [47, 150,161,201,228]. При этом в работе [228], отмечается, что данный вид транспорта достаточно успешно эксплуатировался на данном карьере в течение 21 года, и был демонтирован в 1995 г., фактически в период погашения открытых горных работ. Опыт работы скипового подъемника и проведенные исследования [224, 228], а также практика проектирования показывали экономичность его применения для многих карьеров, в частности, карьерный скиповoy подъем был рекомендован для Баженовских асBESTОвых, Гайского, Зыряновского, Анновского и Николаевского карьеров, глубоких карьеров Кузбасса, Кургашинского карьера, Костомукшского горно-обогатительного комбината и ряда других. Однако на данных месторождениях скиповoy подъем так и не был реализован. Одной из причин ограниченного применения данного типа подъемников является отсутствие эффективной технологии проходки и оснащения

крутых траншей на большую глубину, при уже сформированном нерабочем борте карьера. За рубежом скиповые подъемники в комбинации с автомобильным транспортом получили более широкое распространение для выдачи из глубоких карьеров скальной горной массы при ограниченных размерах в плане [46, 47]. Также известны разработки компаний GHD и Siemug, исследования ИГД УрО РАН по реализации в карьерах наклонных автомобильных подъемников, которые также предполагают формирование крутой траншеи, в которой на специально оборудованной платформе поднимаются и спускаются автосамосвалы.

Проблема формирования крутой траншеи для размещения в ней не только скиповых, но и конвейерных подъемников, возникает в связи с тем, что решения по переходу на комбинированный вид транспорта с использованием подъемников в ряде случаев возникают, когда участки борта карьера, на котором проходит крутая траншея, уже поставлены в предельное положение, и доступ оборудования ограничен.

Для условий глубоких горизонтов карьеров расширить возможности применения скиповых подъемников возможно путем разработки технологии их применения без проходки крутой траншеи на борту карьера. В [292] крупным производителем оборудования для горнодобывающей отрасли компанией «ТиссенКрупп» было предложено использование на одном из карьеров такую скиповую установку собственного производства с грузоподъемностью скипа 136 т. (рис. 1.17 а) и доказана экономическая эффективность ее применения. Отмечается, что в настоящее время компания «ТиссенКрупп» совершенствует интегрированную систему конвейерно-скипового транспорта в сочетании с системой дробления руды. Предлагаемый компанией «ТиссенКрупп» скиповой подъемник не предусматривает крутой траншеи, так как ее проходка всегда продолжительная по времени и достаточно сложная. В 2016 г. данной компанией предложена конструкция скипового подъемника, в которой отсутствует необходимость прокладки рельсов в крутой траншее [293]. Данная конструкция (рис. 1.17 б) представляет собой некий гибрид канатно-подвесной дороги и скипового подъемника. Такая конструкция скипового подъемника позволяет увеличить максимальную глубину эффективного применения скипов, по

сравнению с размещением их в крутой траншее, и снимает проблему пересечения крутой траншееи с транспортными коммуникациями автомобильного транспорта на борту карьера. Также одним из существенных преимуществ применения скипового транспорта по сравнению, например, с конвейерным, является отсутствие необходимости предварительного дробления горных пород, что говорит о том, что данный вид транспорта, при правильной организации работ, может эксплуатироваться без дробилок в карьере. Поэтому данный вид транспорта также является объектом дальнейших исследований.



Рисунок 1.17 - Схема скиповой канатно-рельсовой а) и подвесной б) транспортной системы фирмы «ТиссенКрупп»

Большее распространение при транспортировании горной массы на карьерах получил конвейерный транспорт, и многие исследователи связывают основные перспективы транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьера именно с комбинированным конвейерно-автомобильным транспортом [18, 66, 78, 85, 96, 100, 101, 103, 125, 126, 131, 147, 158, 178, 184, 200, 237, 240, 258, 302, 324, 335, 340, 347, 355, 356 и др.]. Комбинация различных видов транспорта в технологическом процессе транспортирования горной массы является составной частью комбинированной геотехнологии.

В отличие от скипового, конвейерный транспорт, помимо крутой траншееи и подземных выработок, может располагаться в специальных галереях и эстакадах (на опорах). Благодаря устройству эстакад, путепроводов и стволов, возможно пересечение конвейерными системами других коммуникаций, а следовательно, и

расположение конвейерных линий в желаемом направлении.

Недостаточно большой объем перевозок конвейерами на карьерах России можно объяснить тем, что во многих проектах при технико-экономическом обосновании возможных схем вскрытия и вида карьерного транспорта, конвейерный транспорт рассматривается в основном в обычном исполнении, т.е. ленточные конвейеры, доставляющие горную массу под углом до 18° , которые также, как и скиповые подъемники, предполагалось размещать в крутых траншеях. При разработке крутопадающих месторождений рост глубины карьеров ограничивает возможности применения таких конвейеров. Так как эффективность его применения возрастает с глубиной, а для размещения такого конвейера на борту карьера для транспортирования горной массы глубоких горизонтов требуется его зигзагообразное расположение и большое количество перегрузок. Основные перспективы при освоении глубокозалегающих крутопадающих месторождений связываются со специальными видами конвейерных лент, например типа Chevron, и систем с крутонаклонными подъемниками, с прижимной лентой и другими специальными видами конвейерных систем. Они обладают определенными преимуществами с позиций диапазона производительности, относительно высокой надежностью, хорошим взаимодействием с существующими видами транспорта, выемочной и перегрузочной техникой в комбинированных схемах транспорта, возможностью многоприводного бесперегрузочного транспортирования, простотой и экономичностью открытого размещения на борту карьера без проведения специальных вскрывающих выработок.

По данным [203], производительные и мощные крутонаклонные конвейеры с прижимной лентой успешно эксплуатируются на карьерах США, ЮАР, Мексики и др. стран уже с 80-90 гг. прошлого столетия. Производительность такого конвейера практически не зависит от угла подъема. Его конструкция допускает установку приводов на обе ветви ленты, что позволяет снизить нагрузку на грузонесущую ленту.

Мировая практика глубокой открытой разработки месторождений показывает, что на ближайшую перспективу к альтернативным вариантам крутонаклонного подъема горной массы с глубин до 1000 м относятся скиповые и конвейерные подъемники. Производство их освоено, известен положительный опыт эксплуатации.

Сравнительная оценка этих и других вариантов подъема должна выполняться с учетом местных климатических и горнотехнических условий, а также реальных и потенциальных возможностей техники подъема [203].

Опыт эксплуатации ленточных и крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой на карьерах многих стран свидетельствует о возможности их эффективного применения для транспортирования различных горных пород (рис. 1.18, табл. 1.4).



а)



б)

Рисунок 1.18 – Опыт применения и проектные проработки для конвейерных подъемников при транспортировании горной массы из карьеров Мурунтау (а) и Оленегорский (б)

Исследования, проводимые в России, (в частности в МГГУ, ИГД УрО РАН) и других странах СНГ и опыт применения КНК за рубежом, показали, что конвейеры с прижимной лентой и дополнительными прижимными устройствами имеют значительные преимущества на карьерах [126, 145, 239, 258]. Перспективы применения крутонаклонных карьерных подъемников также связывают с трубчатыми конвейерами, конвейерами со специальными лентами, позволяющими увеличить угол подъема горной массы из карьера, например, с лентами типа Chevron, также перспективными можно считать конвейерные системы PocketLift и PocketRope, располагаемые в подземных выработках, которые также могут использоваться для целей открытых горных работ.

Циклично-поточная технология (ЦПТ) получила широкое применение для транспортирования руды в карьерах Кривбасса, Полтавского, Стойленского, Качканарского, Ковдорского, Оленегорского горно-обогатительных комбинатов и

вскрышных пород в карьере Мурунтау Навоийского ГМК [18, 37, 207]. Как известно, внедрение ЦПТ при сокращении расстояния перевозки автомобильным транспортом уменьшает потребность в автосамосвалах, высвобождает рабочие места, снижает расход дизельного топлива и улучшает экологическую ситуацию в карьерах [129]. Преимущественно же переход на автомобильно-конвейерный транспорт рассматривают только с точки зрения экономической выгоды, – для снижения затрат на транспортирование горной массы.

На зарубежных карьерах при автомобильно-конвейерном транспорте преимущественное применение получили автосамосвалы грузоподъемностью от 45-200 т. Производительность отдельных автосамосвалов достигает 3500-5000 т/смену.

В таблице 1.4 приведена характеристика автомобильно-конвейерного транспорта на зарубежных карьерах по добыче руд цветных и черных металлов, по данным [47]. На карьерах России и стран ближнего зарубежья, автомобильно-конвейерный транспорт также нашел широкое применение. В таблице 1.5 приведены основные параметры конвейерных линий на железорудных карьерах, по данным [218]. Анализ данных таблиц показывает значительный диапазон применения схем с конвейерным транспортом, как по производительности, так и по глубине подъема и расстоянию транспортирования горной массы.

Таблица 1.5 - Основные параметры конвейерных линий железорудных карьеров России и стран ближнего зарубежья [218]

Горно-обогатительный комбинат	Производительность		Длина, м	Высота подъема, м
	годовая, млн т	часовая, т		
Ингулецкий	24	4800	1010	152
	30	6000	1700	176
Северный	18	4000	2270	240
Оленегорский	13,5	3000	950	170
Ковдорский	16	3300	730	155
Южный	20	4500	2600	240
Ново-Криворожский	10	2100	790	155
	22	4500	1080	205
Стойленский	20	4500	1305	205
	20	4500	1290	203
Днепровский	20	4500	611	159
Центральный	24	4200	1400	300

Таблица 1.4 - Техническая характеристика автомобильно-конвейерного транспорта на рудных карьерах дальнего зарубежья [47]

Карьер	Техническая характеристика автомобильно-конвейерного транспорта									
	Полезное ископаемое	Производи- тельность карьера, тыс. т в год	Автомобильный транспорт (первое звено)			Конвейерный транспорт (второе звено)				
			Грузоподъем- ность автомобиля, т	Расстояние транспорти- ровани, км	Производи- тель- ность автомобиля, т/ смену	Длина конвейеров, м	Ши- рина ленты, мм	Скорость движения ленты, м/с	Средний угол наклона, градусы	Производи- тельность конвейеров, т/ч
«Уайлбек» (Западная Австралия)	Железная руда	24 000	75 и 120	1-1,5	2000	100	1524	—	—	4000
«Батлер» (США)	То же	8100	34	0,4-0,8	900	700	1200	—	—	3000
«Маркова»	То же	6500	55 и 75	до 1,0	—	15 350	914	3	—	2032
«Коу» (Бразилия)	То же	14 000	45, 65 затем 100	1,5	—	1000	914	—	—	3000
«Аитик» (Швеция)	То же	2500	65	1,0	1500	—	914	—	—	—
«Нимба» (Либерия)	То же	7500	42	0,5-1,3	1340	3200*4	1200	3,05	-18	3000
«Хамерсли» (США)	То же	23 000	100	1,6	2100	1000	—	—	—	3000
«Канания» (Мексика)	Медная руда	24 000	65 и 120	1,6	—	—	1200	3	15,5	4000
«Крайгмонт» (Канада)	То же	1800	34 и 45	до 1,0	—	1742	760	1,7	-12	319
«Багдад» (США)	То же	2000	20 и 25, затем 45	0,6	—	305	914	1,5	12,5	500
«Пима» (США)	То же •	25 000	85, 100 и 130	—	—	300	1372	—	—	—
«Ичаига» (Южная Африка)	То же	3000	45, 100—120	1,2	—	500	1400	2,0	—	1000
«Сиеррита» (США)	Медно-мо- либденовая руда	22 000	110, затем 200	0,8-1,0	2300	393+1828+ +1525	1372	4,0	—	5000
«Чукикамата» (Чили)	Медная руда	26 000, затем 30 000	70, 100	—	—	1200	1524	3,5	9,5	5000
«Экзотика» (Чили)	То же	8000	100	2,0	1200	2682	1200	3,5	—	—
«Тайрон» (США)	То же	12 000	85	0,8	1650	800	1524	3,5	—	—
«Твин Бьютте» (США)	То же	до 25 000	75, 100	0,8—1,2	2150	769+595+ +1188	1524	3,65	14	5400
«Пангюиа» (Папуа-Но- вая Гвинея)	То же	3000	100	2,0	—	400	—	—	17	5000

Фактически существующие конвейерные системы способны обеспечить перемещение горной массы при любой проектной производительности карьера. Помимо этого, схемы с крутонаклонными подъёмниками могут решать дополнительно задачи улучшения экологической обстановки на предприятии, улучшения условий труда персонала, снижения затрат на транспортирование горной массы.

В работе [94] предлагаются решения, направленные на обеспечение эффективности разработки бедных месторождений с учетом экологических ограничений. Значительное внимание в исследованиях уделяется анализу видов горного транспорта, для условий как открытого, так и подземного способов разработки. Основное внимание уделяется конвейерным системам различных видов, также рассматриваются подвесные канатные дороги, рельсовые системы и др. Отмечается, что данные виды транспорта оказывают влияние на экономическую эффективность и экологическую безопасность применяемых технологий.

К перспективным также можно отнести конвейерный подъемник, созданный консорциумом компаний Thyssenkrupp, Siemens и ContiTech [156, 331, 320]. Результатом совместной деятельности стал шевронный трубчатый конвейер «Chevron-MegaPipe Conveyor», который представляет собой ленточный конвейер, оснащенный трубчатой лентой с профилированной несущей обкладкой и с диаметром трубы от 780 до 900 мм (рис. 1.19).



Рисунок 1.19 - Шевронный трубчатый конвейер «Chevron-MegaPipe Conveyor»

Большим преимуществом применения данных конвейерных систем на карьерах является также отсутствие необходимости проходки крутой траншеи (рис.

1.20), возможность транспортировки горной массы под углом до 45° (в ограниченных условиях до 53°), возможность поворота конвейера без устройства перегрузки, а также, как и у конвейеров с прижимной лентой, отсутствие пыления от транспортируемого материала.

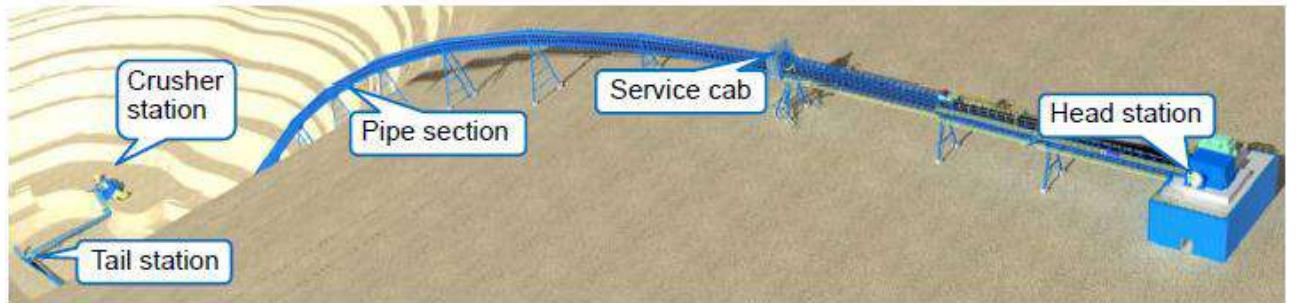


Рисунок 1.20 – Размещение конвейера «Chevron-MegaPipe Conveyor» в карьере

Прорабатываются технические и технологические решения размещения карьерных подъемников без установки опор на борту карьера, например, как показано на рис. 1.21. Рассмотренные новые решения и перспективные варианты применения карьерных подъемников не согласовываются с существующей терминологической базой и классификациями, касающимися способов, схем и систем вскрытия, так как грузотранспортная связь с глубокими горизонтами может осуществляться с использованием транспортных средств без формирования вскрывающих выработок, при этом анализируя имеющиеся определения, транспорт не является элементом системы вскрытия. Очевидно, что с учетом происходящего прогресса в области создания транспортных систем для создания транспортного доступа к глубоким горизонтам карьеров, существующая терминологическая база нуждается в дополнении и развитии.

Конструкция крутонаклонного конвейерного подъемника, предлагаемая в [336], позволяет транспортировать горную массу на поверхность под углом наклона до 60° . Таким образом, рассмотренные конструкции карьерных подъемников позволяют перемещать породу под любым углом наклона нерабочего борта карьера, так как на практике значения углов наклона нерабочих бортов более 60° практически не встречаются и имеют ограниченное применение на отдельных участках, как правило небольшой высоты.



Рисунок 1.21 – Вариант размещения карьерного конвейера без формирования опор на борту карьера [324]

Помимо этого, все виды подъемников являются экологичными видами транспорта, так как при их использовании отсутствуют выбросы выхлопных газов, а некоторые виды подъемников также позволяют исключить пыление транспортируемого материала, являются более безопасными и улучшают условия труда персонала на горнодобывающих предприятиях. Поэтому расширение области применения данных видов транспорта соответствует современным концепциям устойчивого развития промышленности, одним из принципов которой является экологичность производства и улучшения условий труда персонала [57, 108, 170]. Рассматривая конвейерный транспорт с позиции энергетического подхода исследованиями [140], доказано, что данный вид транспорта является энергоэффективным.

Несмотря на рассмотренные выше перспективы использования в карьерах подъемников различного вида на глубоких карьерах, этот вид транспорта всегда является звеном комбинированного транспорта, при этом роль сборочного транспорта выполняют карьерные автосамосвалы. Для обеспечения требуемого грузооборота на крупных карьерах, очевидна тенденция увеличения грузоподъемности автосамосвалов [97, 138, 148, 263]. В Белоруссии выпущен БелАЗ 75710 грузоподъемностью 450 т, который является самым грузоподъемным автосамосвалом в мире, а самосвалы грузоподъемностью 250-360 т некоторыми производителями выпускаются серийно. Ряд экспертов отмечает, что 450 т это не предельная грузоподъемность машины.

В настоящее время российский рынок карьерных самосвалов насчитывает свыше 9 тыс. автомобилей грузоподъемностью от 30 до 360 т (рис. 1.22) [112].

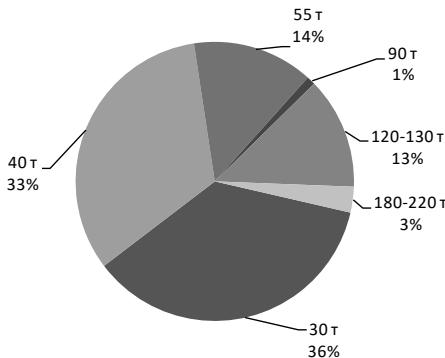


Рисунок 1.22 - Распределение карьерных самосвалов в РФ по грузоподъемности

От организации работы карьерного автотранспорта также во многом будет зависеть эффективность применения схем с подъемниками в карьере.

Оценивая целесообразность применения карьерных подъемников различных типов, сравнение производят с карьерными автосамосвалами как единственного вида транспорта. Эффективность применения подъемников будет тем выше, чем больший объем горной массы будет транспортироваться по ним. Чем меньше производительность карьерного подъемника, тем больше срок окупаемости капитальных затрат на его строительство [250].

Поскольку переход на новые виды и типы транспорта связан с определением рациональных границ применяемых на карьере видов транспорта, необходим комплексный учет ряда факторов, таких как: текущие размеры карьера по глубине и в плане, производительность карьера, проектная глубина отработки месторождения, темпы развития горных работ в карьере, расстояния транспортирования по видам транспорта и др.

Анализ научных исследований и практики по выбору схемы вскрытия и вида транспорта в глубоких карьерах при отработке месторождений открытым способом позволяют сделать вывод о том, что наиболее перспективными вариантами вскрытия глубоких горизонтов карьеров являются схемы вскрытия с применением крутоаклонных подъемников. В тоже время ряд исследований, например [136], отмечают, что внедрение подъемников на карьерах не имеет широких перспектив из-за продолжительных сроков внедрения и окупаемости вложений в данные схемы

вскрытия, однако с такими выводами не сходятся результаты исследований многих ученых, занимающихся проблемами карьерного транспорта. Помимо этого, в работе [136] рассматривается возможность применения схем с конвейерными подъемниками только для условий открытых горных работ. В тоже время, одним из этапов освоения крупных крутопадающих месторождений является комбинированный открыто-подземный, а в перспективе подземный способы разработки, а этапом вскрытия при этом является проходка подземных выработок из пространства карьеров. Карьерный транспорт, существующие и создаваемые вскрывающие выработки карьера могут рассматриваться для дальнейшего использования после окончания открытых горных работ. Целесообразность использования карьерных вскрывающих выработок при переходе на открыто-подземный и подземный способ разработки можно обосновать тем, что в переходный период уже имеется карьер со сформированной схемой вскрытия, на создание которой были затрачены существенные средства и время, которые могут быть сэкономлены на последующих этапах разработки.

При создании новой системы вскрытия подземного рудника необходим всесторонний анализ уже имеющейся системы на предмет перспективы ее использования для вскрытия запасов за проектным контуром. Адаптация схемы вскрытия подземного рудника к уже существующей в перспективе позволит сократить финансовые и временные затраты на вскрытие законтурных запасов и повысить общую эффективность освоения запасов месторождения.

1.3 Анализ особенностей вскрытия крутопадающих месторождений при открыто-подземном способе разработки

В настоящее время многие карьеры находятся на этапе доработки месторождений открытым способом или близки к данному этапу. В дальнейшем на данных горнодобывающих предприятиях предусматривается переход на открыто-подземную или подземную разработку месторождения, так как за контурами карьеров остаются значительные объемы запасов полезного ископаемого (табл. 1.6) [59, 88].

Таблица 1.6 - Объемы законтурных запасов при разработке месторождений открытым способом

Месторождение	Добываемая руда	Глубина карьера, м	Карьерный транспорт	Объем запасов за контуром карьера, млн. т
Александринское	медноколчеданная	110	автомобильный	4,5
Гайское	медноколчеданная	380	автомобильный	400
Джусинское	колчеданно-полиметаллическая	250	автомобильный	2,5
Западно-озерное	медноколчеданная	200	автомобильный	51
Карьер «Железный» (Ковдорский ГОК)	железная	480	автомобильно-конвейерный	346
Малый Куйбас	железная	315	автомобильный	70
Молодежное	медноколчеданная	248	автомобильный	7
Оленегорское	железная	330	автомобильно-конвейерный	329
Сибайское	медноколчеданная	469	автомобильно-скиповой	19,4
Учалинское	медно-цинковая	380	автомобильный	н.д.
Юбилейное	медная	320	автомобильный	0,1

Карьеры рудных месторождений, находящиеся на этапе доработки, как правило, являются глубокими или сверхглубокими. Схема вскрытия этих карьеров имеет характерные особенности по количеству и параметрам вскрывающих выработок, зависящих от площади рабочей зоны, расстояния транспортирования, уклона трассы и т.д. Создание системы вскрытия при переходе на открыто-подземный способ разработки предусматривает проведение горно-капитальных выработок, их оснащение, монтаж оборудования. Выработки могут проходить как с поверхности, так и с площадок карьера. Варианты систем вскрытия будут отличаться как капитальными и эксплуатационными затратами, так и сроком их формирования.

Значительный вклад в исследования вопросов вскрытия месторождений и транспортирования горной массы при комбинированном открыто-подземном способе разработки внесли ученые: Агошков М.И., Аминов В.Н., Воронюк А.С., Глотов В.В., Голик В.И., Демидов Ю.В., Калмыков В.Н., Каплунов Д.Р., Ордин А.А., Пешкова М.Х., Пивень Г.Ф., Рыльникова М.В., Савич И.Н., Славиковский О.В., Соколов И.В., Спиваковский А.О., Стариков Н.А., Шубодеров В.И. и другие. В работах данных ученых изложены основные способы и схемы вскрытия запасов

за проектными контурами карьеров, в том числе рассмотрены способы строительства подземного рудника с использованием карьерного пространства, предложены классификации способов и схем вскрытия. Особое внимание отводится вопросам использования комплексных схем вскрытия с выдачей горной массы из карьера и шахты по общим транспортным выработкам. Отмечается, что использование пространства глубоких карьеров для целей вскрытия и выдачи руды ограничивается периодом совмещения открытых и подземных работ или временем строительства подземных рудников.

Накоплен значительный опыт использования карьерного пространства для размещения как основных, так и вспомогательных подземных выработок. Так, из карьера проводятся штольни, наклонные съезды, с помощью которых производится доставка рудной массы, а также материалов, оборудования в подземные выработки, подготовка блоков к очистной выемке, подача свежего воздуха, выброс загрязненного [14, 17, 24, 19, 20, 88, 95, 102, 117-123, 191].

Одним из первых опыт совместного вскрытия описывает академик АН УССР проф. Н.А. Старикив. В работе [206] он показал, что штольни проводят из карьеров для вскрытия фланговых частей месторождения и отдельных рудных залежей, разрабатываемых подземным способом.

Профессором В.А. Щелкановым [244, 245] были рассмотрены вопросы совместного вскрытия карьерного и шахтного полей. Он отмечает, что при совместной разработке в контурах одного месторождения создаются благоприятные условия для применения комплексных схем вскрытия карьерного и шахтного полей, и разработал классификацию схем совместного вскрытия карьерного и шахтного полей при комбинированной разработке месторождений (по тесноте технологической взаимосвязи).

Развитие основ комбинированной открыто-подземной геотехнологии нашло в трудах ученых ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, ИГД СО РАН, ГоИ КНЦ РАН, МГТУ (МИСиС), МГТУ им. Г.И. Носова и др. организаций и институтов.

В своих исследованиях член-корр. Д.Р. Каплунов, проф. В.Н. Калмыков и проф. М.В. Рыльникова [119, 124] доказывают, что освоение запасов

месторождений может осуществляться при последовательном, параллельном или последовательно-параллельном переходе с одного способа разработки на другой, что предполагает создание единой технологической схемы вскрытия и подготовки, увязанных во времени и пространстве единым проектом.

Отказ от двух самостоятельных схем вскрытия путем применения общей схемы в едином плане горных работ на весь период освоения запасов месторождения позволит существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты, снизить негативные последствия переходного периода с одного вида горных работ на другой при рассмотрении их в раздельных проектах и расширит область эффективного применения комбинированных технологий [192].

В работе [107] доказано, что использование карьерного пространства для вскрытия запасов за контуром карьеров сокращает срок строительства рудника на 1-3 года и позволяет получить дополнительный доход 7-9% по сравнению с традиционными способами строительства рудника. При этом автор рассматривает вариант использования карьерных выработок в существующем виде с действующим видом только автомобильного транспорта, что не всегда является оправданным ввиду больших затрат на транспортирование горной массы автотранспортом с глубоких горизонтов через карьерное пространство, этим же можно объяснить столь незначительный дополнительный доход.

Профессор Воронюк А.С. в своих исследованиях доказал целесообразность поэтапного вскрытия запасов при комбинированном способе разработки, при этом схемы вскрытия для открытой геотехнологии выделены в один этап.

В то же время мировой опыт открытого-подземной разработки месторождений свидетельствует о возможности и целесообразности использования карьерного пространства в качестве главной и вспомогательной вскрывающей выработки. Существует достаточно много месторождений, в которых карьерное пространство является главной вскрывающей выработкой. В данном случае, при открытого-подземной разработке законтурных запасов предусматривается использование карьерного оборудования. В качестве вспомогательных (дополнительных) вскрывающих выработок используют штолни для отработки прибортовых

запасов, транспортных уклонов в дне карьера, вертикальные и наклонные стволы для отработки подкарьерных и прибортовых запасов. Проходка вскрывающих выработок из карьеров при переходе на открыто-подземные горные работы применена на следующих рудниках: Тьюктоник-Бор (Австралия), Виртасальме (Финляндия), Хаммаслахти (Финляндия), Ваммала (Финляндия), Камото (Конго), Игл-Маунтайн (США), Брансуик (Канада), Ардлэтэн (Австралия), Пюхасалми (Финляндия), Кируна (Швеция), Бактолони (Лаос), Молодежное, Александринское, Айхал, Учалинское, Таш-Тау, Салаирский ГОК (все – Россия) и других [59, 119, 124, 191, 230]. Один из примеров применения совместной схемы вскрытия при открыто-подземном способе разработки представлен на рис. 1.23. На рисунке показан пример, как на Лаосском оловорудном месторождении Бактолони ведется комплексная разработка с транспортированием рудной массы карьерными автосамосвалами. Карьерный автомобильный съезд переходит в наклонный подземный съезд с уклоном 12°.

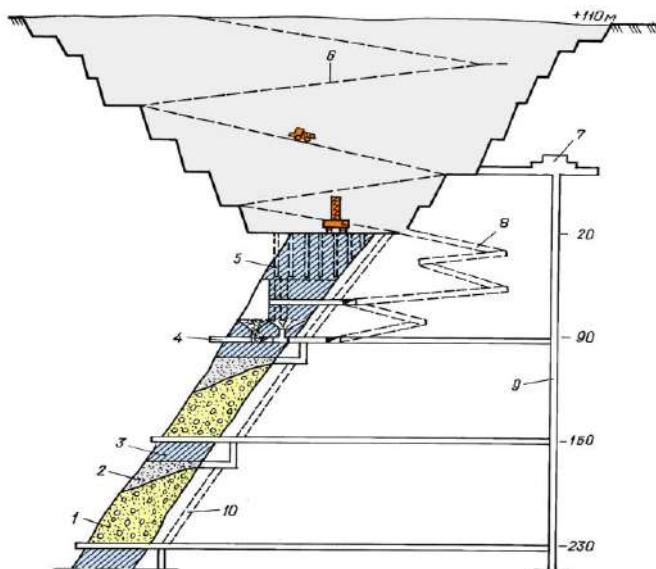


Рисунок 1.23 – Схема вскрытия рудника Бактолони: 1 – сухая закладка из вскрытых пород дорабатываемого карьера с предельной глубиной 130 м; 2 – закладка из обезвоженных хвостов обогащения; 3 – межэтажный рудный целик; 4 – транспортный горизонт; 5 – буровые скважины, пробуренные со дна карьера карьерными станками; 6 – карьерный автомобильный съезд для спуска самоходного шахтного оборудования на подземные работы; 7 – пункт перегрузки из слепого рудоподъемного ствола в карьерные автосамосвалы; 8 – спиральный подземный съезд, пройденный со дна карьера; 9 – слепой рудоподъемный ствол с устройством пункта перегрузки в нерабочем борту карьера; 10 – породоспуск для сухой закладки

Примеров использования карьеров в качестве вскрывающей выработки для подземного рудника достаточно много. Более подробно они рассмотрены в [75, 174, 179]. Данные предприятия объединяет то, что схема вскрытия запасов подземного рудника была адаптирована под существующую схему вскрытия в карьере. При этом была использована система вскрытия с карьерным транспортом и коммуникациями, не проектируемыми изначально для подземного рудника. Во всех рассмотренных примерах в качестве карьерного транспорта использовался автотранспорт, эксплуатация которого, как отмечалось выше, составляет основную долю затрат в общих затратах на разработку месторождения.

Независимая схема вскрытия законтурных запасов может привести к завышенным объемам капитальных вложений и низкой эффективности подземной разработки небольших запасов руд. Ряд исследователей считает, что примером двукратного завышения капитальных затрат является Сибайский рудник (рисунок 1.24). Сибайское месторождение отрабатывалось открыто-подземным способом по последовательной схеме.

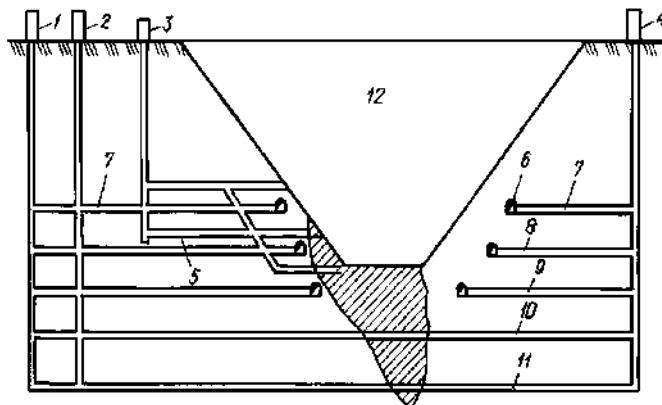


Рисунок 1.24 – Схема вскрытия Сибайского рудника: 1, 2 – рудоподъемный и вентиляционный стволы; 3 – дренажная шахта; 4 – клетевой ствол; 5 – квершлаг вентиляционный гор. 309 м; 8, 10 – транспортные квершлаги; 9, 11 – квершлаги концентрационные; 12 – отработанный карьер

При этом частично на Сибайском руднике руда транспортируется автосамосвалами по карьерным автомобильным съездам. Повысить эффективность комбинированного открыто-подземного способа разработки месторождений возможно путем снижения затрат на вскрытие и транспортирование горной массы.

При этом необходимо переходить на более экономичные виды транспорта, как было рассмотрено в п. 1.2 настоящей диссертации.

Опыт применения более энергоэффективных схем вскрытия карьеров, с целью использования карьерных подъемников для транспортирования закончурных запасов руды подземного рудника в различных горно-геологических, горнотехнических и экономических условиях эксплуатации месторождения отсутствует. Хотя такая схема вскрытия могла бы быть применена, например, на Сибайском месторождении. После прекращения открытых горных работ карьерный скиповый подъемник был демонтирован, а транспортирование руды из подземного рудника частично осуществляется по карьерным автодорогам. Как видно на фото (рис. 1.25) капитальная крутая траншея сохранилась целиком.



Рисунок 1.25 – Внешний вид Сибайского карьера после прекращения открытых горных работ

Данный подъемник мог быть использован для перемещения рудной массы подземного рудника и повысить технико-экономические показатели разработки месторождения. Но не применялся, так как при выборе места расположения подъемника на борту карьера и определения срока его функционирования не учитывалась последующая подземная разработка, а при проектировании подземного рудника не учитывались возможности имеющейся схемы вскрытия в полном объеме.

Таким образом, практика разработки месторождений открыто-подземным способом показывает, что карьерное пространство широко используется для вскрытия и транспортирования руды законтурных запасов. Вскрытие законтурных запасов из карьерного пространства позволяет сократить срок строительства подземного рудника, снизить затраты на создание схемы вскрытия, но при этом стоимость транспортирования руды карьерными автосамосвалами выше, чем шахтным скиповым подъемником. Сводные показатели технологических схем транспортирования руды представлены на рисунке 1.26 [59, 70, 72].

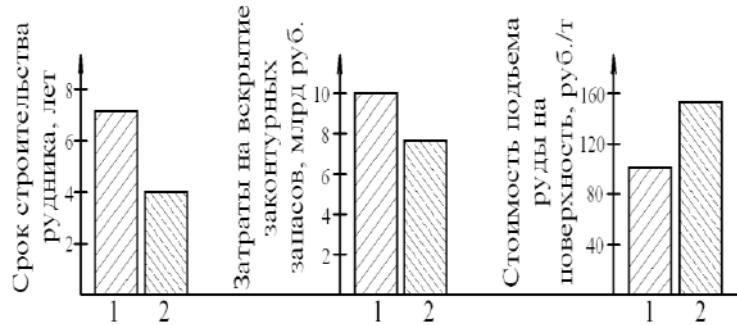


Рисунок 1.26 - Показатели технологических схем транспортирования руды законтурных запасов: 1 – шахтным скиповым подъемником при вскрытии вертикальными стволами с поверхности; 2 – подземными и карьерными автосамосвалами при вскрытии наклонным съездом из карьерного пространства

Несмотря на достаточно большой опыт применения комбинированной открыто-подземной геотехнологии, вопрос глубины перехода от открытого способа разработки к подземному остается дискуссионным.

В исследованиях д.т.н. Савич И.Н., д.т.н. Ордина А.А. [196, 197, 168], говорится, что в зависимости от вида полезного ископаемого и горнотехнических условий разработки месторождений, оптимальная глубина перехода на подземный способ разработки составляет 150-200 м. Опыт открыто-подземной разработки зарубежных месторождений, представленный в [88, 119], также показывает, что переход к подземному способу разработки осуществляется при достижении карьерами глубин 100-150 м.

Исследования [175] посвящены определению предельной глубины перехода на подземную разработку. Отмечается, что предельная глубина перехода, в зависимости от ценности полезного ископаемого может превышать 830 м.

Практика разработки месторождений показывают, что проектные глубины некоторых карьеров достигают 860 м и имеются перспективы увеличения. Так, проф. Решетняк С.П. в [185] говорит о ближайших перспективах развития открытого способа разработки до глубины 1000 м, а в [185] говорит, что для карьеров третьего поколения предельная глубина может достигать 1600 м. О перспективных глубинах карьеров до 1000 м и более указывают и другие ученые. В соответствии с указанными глубинами будет развиваться и система вскрытия.

Анализ научной литературы [4, 75, 174, 179, 124, 151, 197, 270, 359 и др.], проектной документации, отчетов на выполнение научно-исследовательских работ на разработку месторождений открытым, открыто-подземным и подземным способами позволил определить зоны распределения глубин ведения горных для каждого из способов (рис. 1.27). Таблица с глубинами горных работ по более чем 100 отечественных и зарубежных предприятий, обозначенным на рис. 1.27 представлена в Приложении А. Наибольшая глубина перехода на подземный способ разработки отмечается в [293] для рудника Chuquicamata, расположенного в Чили. Данная глубина соответствует максимальной проектной глубине для открытого способа разработки. Максимальная глубина подземного способа разработки соответствует глубине рудника Mponeng, расположенного в ЮАР.

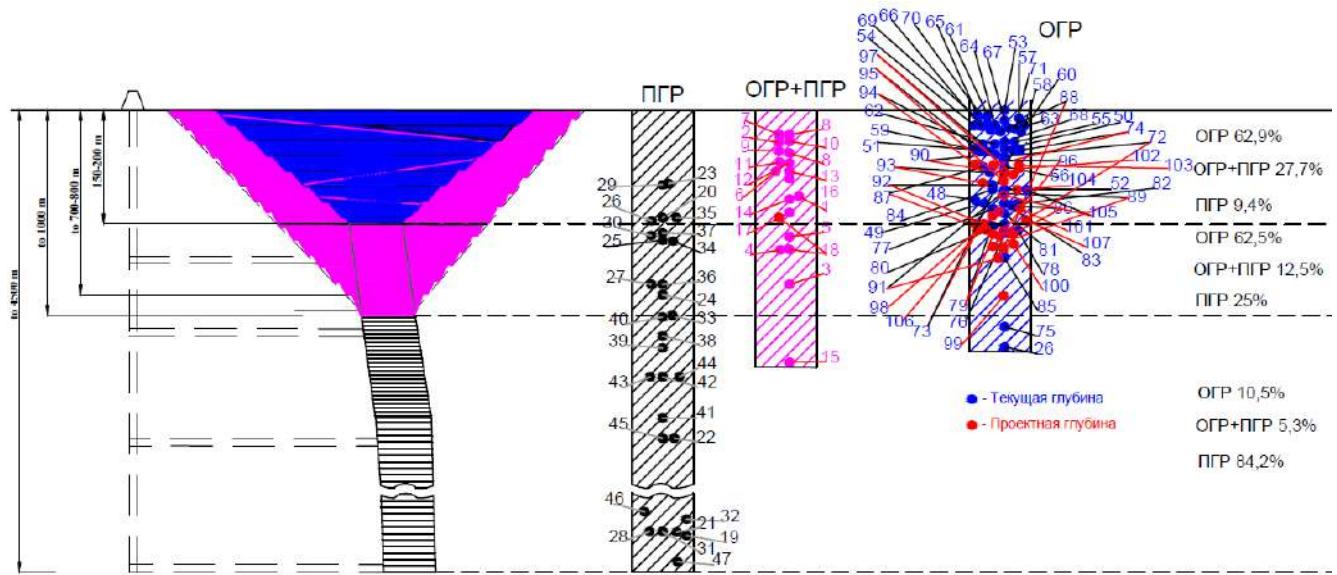


Рисунок 1.27 – Текущие и перспективные глубины освоения крутопадающих месторождений

На основе выполненного анализа исследований определено, что до глубины 150-200 м открытый способ разработки является практически без альтернативным. При этом в данном диапазоне глубин и до глубины 1000 м осуществляется переход с открытого на открыто-подземный способ разработки. Научные исследования [121, 175, 197] также подтверждают, что в зависимости от оцениваемых факторов, целесообразная глубина перехода на открыто-подземный способ разработки для различных рудников изменяется от 150-200 м до 890 м (рис. 1.28).

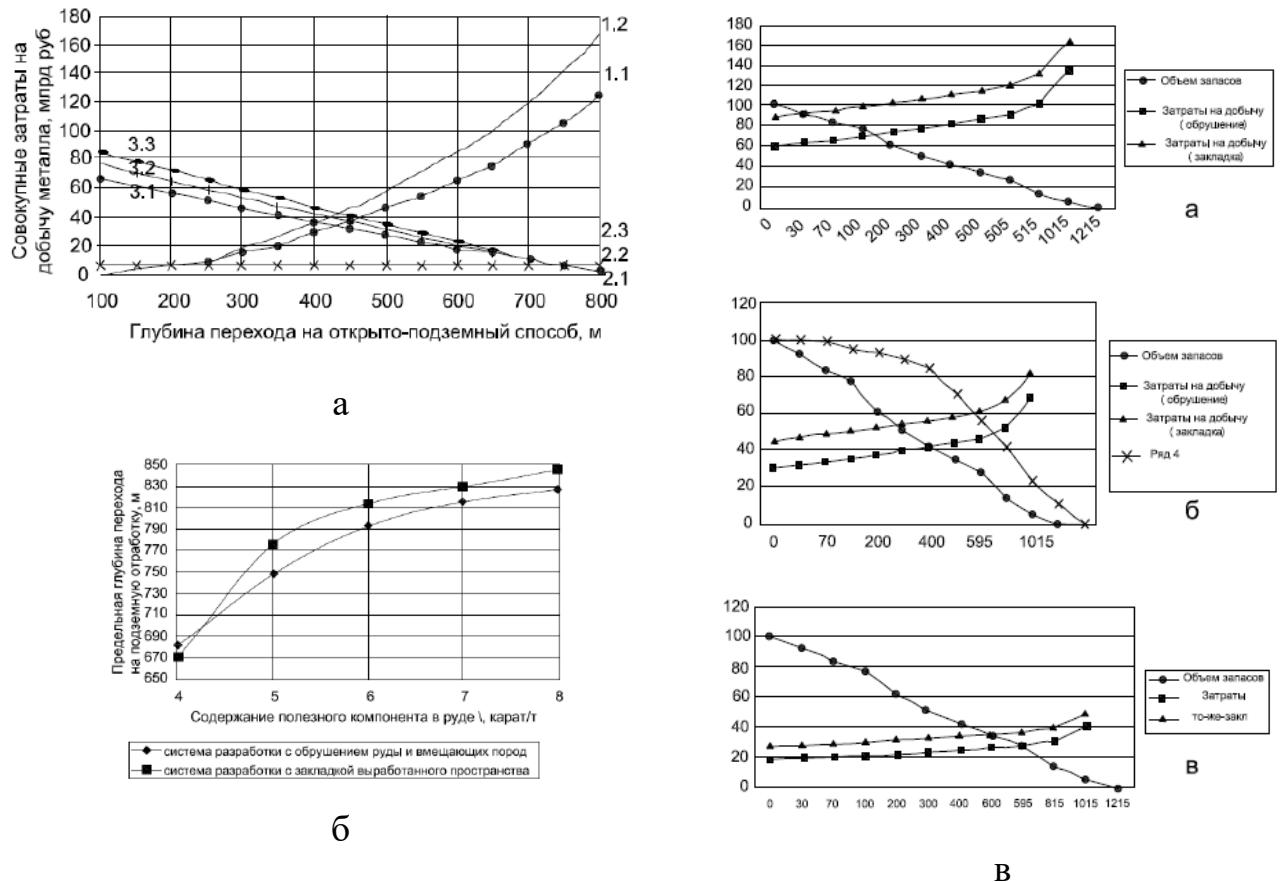


Рисунок 1.28 – Рекомендуемые глубины перехода на открыто-подземный способ разработки в зависимости от различных влияющих факторов: а). : 1-открытый способ разработки с внутренним (1.1) и внешним (1.2) отвалообразованием; 2-открыто-подземный способ с тросовым креплением (2.1), с обрушением (2.2), с закладкой (2.3); подземный способ с открытым очистным пространством (3.1), с обрушением (3.2), с закладкой (3.3). [121]; б) Зависимости предельной глубины перехода на подземные горные работы от содержания полезного компонента в руде при различных системах подземной разработки. [175]; в) Изменение глубины перехода к подземной разработке в зависимости от ценности запасов месторождения: а - ценность руды - 150 дол/т; б - 300 дол/т; в - 500 дол/т. [197].

При глубине свыше 1000 м в настоящее время и в ближайшей перспективе отработки запасов предполагается подземным способом. Таким образом, в настоящее время образовалась конкурентная зона в глубинах от 200 до 1000 – 1100 м, в которых могут быть эффективно реализованы различные геотехнологии: открытая, подземная и открыто-подземная и соответствующие способы и схемы вскрытия. Для каждой геотехнологии на соответствующей глубине реализуется различная схема вскрытия: на глубинах до 200 м это преимущественно вскрытие наклонными траншеями; в диапазоне глубин 200-1000 м вскрытие наклонными траншеями, крутыми траншеями, наклонными и вертикальными подземными выработками; при глубине свыше 1000 м – вертикальными подземными выработками.

Именно в обозначенной конкурентной зоне в ближайшей перспективе предстоит функционировать многим предприятиям, разрабатывающим крутопадающие месторождения. От своевременности и правильности принятия решений на каждом этапе освоения месторождений будет зависеть не только эффективность текущего этапа разработки, но также полнота извлечения запасов и эффективность их освоения в целом.

Исходя из вышесказанного распределение способов разработки и вариантов вскрытия запасов может быть представлено следующим образом (рис. 1.29).

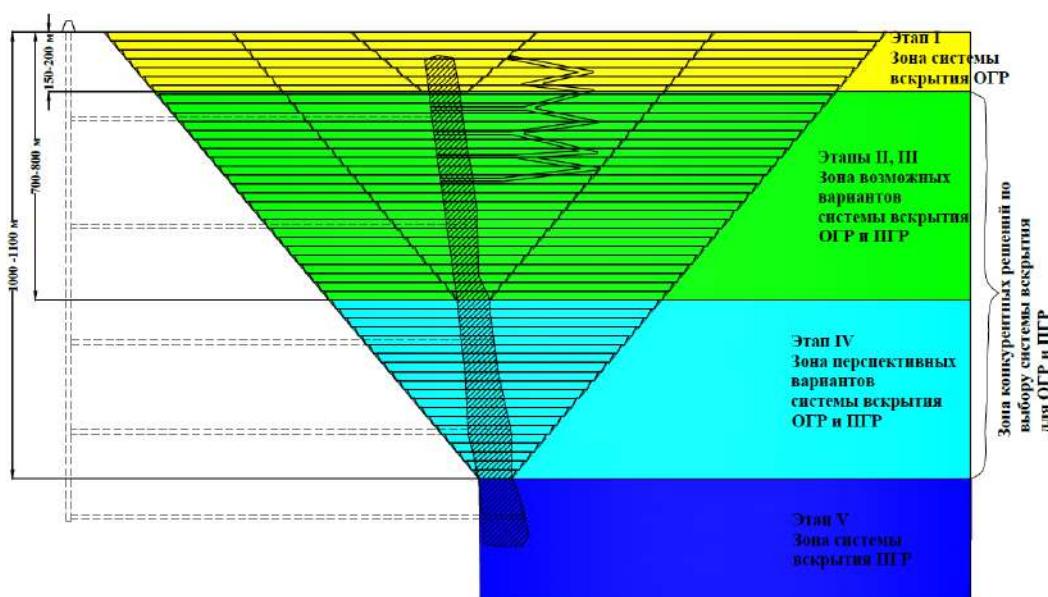


Рисунок 1.29 – Перспективы освоения крутопадающих месторождений

Зона системы вскрытия ОГР предполагает однозначную отработку части крутопадающего месторождения открытым способом до указанных глубин, за исключением случаев наличия ограничений, например, экологического характера, исключающих возможность формирования карьера на месторождении. Величина наносов также не должна превышать нескольких десятков метров. Зона системы вскрытия ПГР предусматривает безвариантную подземную разработку запасов ниже глубины 1100 м, при условии, что ценность полезного ископаемого позволяет экономически эффективно добывать его с таких глубин. Зона с глубиной от 200 м до 1100 м является зоной неоднозначных решений при отсутствии явного доминирования экологических и геомеханических факторов. При выборе способа разработки запасов в данном промежутке глубин определяющими будут затраты на создание схемы вскрытия, приобретение карьерного транспорта и последующие эксплуатационные затраты на доставку горной массы, а также продолжительность переходного периода на следующий этап или новый способ разработки. Для обоснования параметров горнотехнической системы в данной конкурентной зоне необходимо развитие системного подхода к выбору вида и типа транспорта, обоснованию параметров вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций.

1.4 Цели, задачи и методы исследования

В результате анализа условий функционирования горнодобывающих предприятий и изменения значений показателей работы отечественных карьеров, разрабатывающих крутопадающие рудные месторождения, установлено, что имеющаяся тенденция увеличения текущей и проектной глубины карьеров сохранится на ближайшую перспективу, в последующем многие месторождения будут отрабатываться комбинированным открыто-подземным или подземным способами. Перемещение горных работ на глубокие горизонты приводит к ухудшению горнотехнических условий разработки месторождений и росту затрат на добычу полезного ископаемого. Несмотря на имеющийся и продолжающийся технический прогресс в сфере создания и

модернизации новых видов и моделей карьерных транспортных средств, во многом именно высокие затраты на создание схемы вскрытия, транспортное обеспечение горных работ определяют границы применения каждой геотехнологии, эффективность освоения месторождений и устойчивость горнорудных предприятий в изменяющихся условиях. В тоже время, при выборе технологических решений для условий глубоких горизонтов карьеров необходим учет не только экономических, но и экологических и социальных факторов.

Снижение затрат на доставку горной массы с глубоких горизонтов и негативного воздействия транспортных средств на атмосферу карьеров многие исследователи связывают с расширенным применением различного вида карьерных подъемников. Однако, разрабатываемые и применяемые технологические схемы создания транспортного доступа к глубоким горизонтам карьеров не соответствуют существующей терминологической базе и классификациям схем и способов вскрытия. При освоении крупных, в частности крутопадающих рудных месторождений, выделяется большая зона по глубине разработки – зона конкурентных вариантов вскрытия. Вскрытие запасов на таких месторождениях осуществляется поэтапно. Определенная схема вскрытия функционирует в течение некоторого периода эксплуатации карьера. Развитие системы вскрытия завершается с отработкой последних по глубине горизонтов месторождения. Переход горных работ на глубокие горизонты, т.е. начиная с глубины 200 м, эффективность горнотехнических систем в неизменном виде становится спорной. На предприятии периодически необходимо принимать решение о начале переходного периода на следующий этап открытых горных работ или на подземный способ разработки. Горнодобывающие предприятия входят в переходные периоды с целью адаптировать горнотехническую систему к изменяющимся внешним и внутренним экономическим и горнотехническим условиям. От правильности выбора стратегии дальнейшего развития, технических и технологических параметров и показателей переходного периода, результатом может являться как улучшение, так и ухудшение технико-экономических показателей функционирования горнотехнических систем предприятий в последующие этапы разработки. Целью же производимых преобразований должно становиться не достижение кратковременного положительного

эффекта, а обеспечение устойчивого во времени функционирования горнорудного предприятия в условиях воздействия изменяющихся внешних и внутренних факторов.

Таким образом, освоение запасов глубоких горизонтов должно осуществляться этапами с поэтапным развитием системы вскрытия позволяющим расширить применение энергоэффективных циклично-поточных технологий доставки горной массы. Разработка и реализация геотехнологических решений, направленных на обеспечение своевременности перехода на очередной этап вскрытия с соответствующими параметрами, учитывающими изменяющиеся внешние и внутренние факторы функционирования горнотехнических систем, позволит обеспечить эффективность горных работ на месторождении и сохранить устойчивость горнорудного предприятия.

Цель настоящей работы – обеспечение устойчивого функционирования горнодобывающих предприятий в периоды перехода на очередные этапы разработки при освоении запасов глубоких горизонтов рудных месторождений открытой и комбинированной геотехнологиями.

Идея работы заключается в том, что эффективные горные работы при переходе на глубокие горизонты обеспечиваются поэтапным вскрытием запасов с увеличением доли поточной технологии транспортирования горной массы и применением подъемников до конечной глубины карьера.

На основе результатов исследований, актуальности проблемы и методологической базы обеспечения эффективности вскрытия глубоких горизонтов крутопадающих рудных месторождений определены задачи данной диссертационной работы:

- анализ практического опыта и теоретических исследований по изменению схемы вскрытия, средств карьерного транспорта при разработке крутопадающих месторождений;
- обоснование структуры и параметров системы вскрытия для условий ведения горных работ на глубоких горизонтах;
- обоснование критерия оценки эффективности системы вскрытия карьеров;
- разработка геотехнологических решений по обоснованию параметров этапов

вскрытия глубоких горизонтов для условий применения циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования на карьерах, отрабатывающих крутопадающие месторождения;

- разработка технологических схем вскрытия законтурных запасов, обеспечивающих увеличение объемов руды, отрабатываемых комбинированной геотехнологией с использованием карьерных вскрывающих выработок;

- разработка методики проектирования поэтапного вскрытия и выбора стратегии развития горнотехнической системы при комбинированной геотехнологии;

- разработка практических рекомендаций по обоснованию параметров системы вскрытия карьеров и выбора целесообразной стратегии развития горнотехнических систем для действующих горнодобывающих предприятий.

Выводы:

- определено, что за последние десятилетия проектные глубины карьеров возросли более чем в 1,5 раза, а вместимость ковшей экскаваторов и грузоподъемность автосамосвалов, применяемых в карьерах, более чем в 4 раза. При этом для принятой модели экскаватора вариативность формирования системы вскрытия различается в широком диапазоне: до 60 конкурентных моделей самосвалов, 2-4 вида транспорта, 5-6 вариантов сочетаний видов транспорта и до 1,5-1,7 раза различающиеся параметры однотипных вскрывающих выработок. Такая вариативность требует многокритериального подхода к обоснованию параметров системы вскрытия;

- установлено, что на многих предприятиях, разрабатывающих глубокозалегающие, в том числе крутопадающие месторождения открытым способом, отмечается тенденция роста текущей и проектной глубины карьеров. Значительное изменение условий транспортирования горной массы и развития рабочей зоны начинается с глубин 200 м, что соответствует переходу горных работ на глубокие горизонты. При этом, текущие глубины некоторых карьеров приближаются к 600 м, а проектные глубины превышают 800 м. При достижении карьерами таких глубин, определяющими эффективность отработки месторождения, становятся затраты на

создание схемы вскрытия и организацию процесса транспортирования горной массы;

- установлено, что снижение затрат на транспортирование в глубоких карьерах возможно путем изменения схем вскрытия и перехода на комбинированный транспорт с использованием подъемников и автосамосвалов. Переход на применение подъемников в карьере сдерживается неопределенностью со сроками его применения и несоответствием производительности рудников на различных этапах разработки месторождения;

- установлено, что расширение применения подъемников в карьере сдерживается отсутствием эффективных технологий проходки крутых траншей и малой эффективностью обычных ленточных конвейеров в глубоких карьерах, так как относительно маленький угол их наклона в выработках не позволяет строить их на большие глубины. Данная тенденция изменяется путем внедрения на карьерах крутонаклонных подъемников (скиповых и конвейерных), расположенных на опорах и других конструкциях, позволяющих располагать их под углом близким или равным углу наклона нерабочего борта, и применять их до глубин ограниченных только по условиям экономичности их использования. Перспективы развития крутонаклонных подъемников также связаны с бестраншевым их расположением на бортах карьера. При этом определено, что существующая терминологическая база и классификации способов и схем вскрытия месторождений не соответствуют новым технологическим решениям, касающимся процесса транспортирования горной массы из карьеров;

- определено, что эффективность и перспективность вскрытия законтурных запасов связана с доставкой руды по карьерным вскрывающим выработкам. При этом необходимо пересматривать подходы к проектированию совместных схем вскрытия и транспортирования пород, так как использование подземным рудником карьерного, уже малоэффективного при доработке глубоких горизонтов карьеров, автомобильного транспорта переносит свои высокие эксплуатационные затраты на подземный способ разработки;

- определено, что при разработке глубокозалегающих месторождений в

интервале глубин со 150-200 м до 700-1000 м находится зона конкурентных решений по выбору способа вскрытия и разработки месторождения. В данной зоне горнодобывающие предприятия проходят переходные периоды, связанные с необходимостью перехода на следующий этап открытых горных работ или на открыто-подземный способ разработки с целью адаптировать горнотехническую систему к изменяющимся внешним и внутренним экономическим и горнотехническим условиям. Результатом принятых в переходный период решений может быть как улучшение, так и ухудшение технико-экономических показателей функционирования горнотехнических систем в последующие этапы разработки;

- установлено, что проблема проектирования горнотехнических систем в условиях динамичной внешней и внутренней среды требует доработки и систематизации имеющихся знаний, развития терминологической и методической базы. Существующий подход к определению параметров схем вскрытия и процесса транспортирования, оказывающих наибольшее влияние на эффективность горнотехнической системы в целом приводит к рассогласованию текущих решений с долгосрочными целями освоения месторождения, что не обеспечивает устойчивость функционирования горнодобывающих предприятий в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды и не позволяет принимать решения по выбору целесообразной стратегии разработки с учетом значительного количества действующих факторов при освоении запасов глубоких горизонтов.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ

2.1 Влияние схемы вскрытия на параметры горнотехнической системы

Схема вскрытия формируется с учетом параметров карьера и динамики производства горных работ для обеспечения требуемых грузопотоков принятым, видом карьерного транспорта. Независимо от вида применяемого карьерного транспорта, с ростом глубины отмечается рост затрат на разработку месторождения. В таких условиях, для сохранения конкурентоспособности продукции горнодобывающего предприятия необходимо оптимизировать затраты на добычу.

Также, в случае негативного влияния на деятельность горнодобывающего предприятия внешних и внутренних факторов, на карьерах стремятся к сокращению затрат на вскрышные работы, так как вскрышные породы не являются целью разработки месторождения, а являются отходом. При прочих равных условиях, чем меньше вскрышных пород извлекается при добыче единице полезного ископаемого, тем выше технико-экономические показатели предприятия. Данные источники оптимизации являются взаимосвязанными и взаимодополняющими. Вскрывающие выработки и транспортные коммуникации являются элементом рабочей зоны, поэтому от параметров транспортных коммуникаций зависит ширина рабочей площадки, а следовательно, текущие объемы вскрышных работ [39]. Неизбежное увеличение объема вскрышных работ и соответствующий рост затрат на разработку месторождения может компенсироваться поиском и внедрением мероприятий по снижению затрат на вскрытие и транспорт. Влияние данных факторов на технико-экономические показатели разработки месторождения было оценено на примере карьеров АО «Орское карьерауправление». Были выполнены исследования на примере Круторожинского и Северо-Круторожинского месторождений, где предстояло выбрать оптимальный вариант вскрытия участка месторождения и развития горных работ в карьере [81, 212]. В связи с усложнением отработки действующего

карьера, вызванного увеличением глубины, руководством предприятия было принято решение рассмотреть возможность отработки нового Северо-Круторожинского участка. Данный участок примыкает к северо-восточному борту действующего карьера и образует с существующим карьером единое карьерное поле. В ходе расчетов были рассмотрены три возможных варианта вскрытия нового участка (рис. 2.1). Выбор данных вариантов основывался на следующих преимуществах каждого из них:

- вариант 1 – вскрытие Северо-Круторожинского участка осуществляется с существующими рабочими площадками Круторожинского карьера, что позволит ускорить процесс строительства карьера на новом участке; для транспортирования вскрышных пород и полезного ископаемого будут использованы действующие транспортные коммуникации;
- вариант 2 – вскрытие Северо-Круторожинского участка без производства горно-капитальных работ с соответствующими отметками поверхности; данный вариант предполагает кратчайшее расстояние транспортирования вскрышных пород и полезного ископаемого на первом этапе развития горных работ;
- вариант 3 – вскрытие Северо-Круторожинского участка отдельным карьером позволит создать независимые от Круторожинского карьера грузопотоки вскрышных пород и полезного ископаемого.

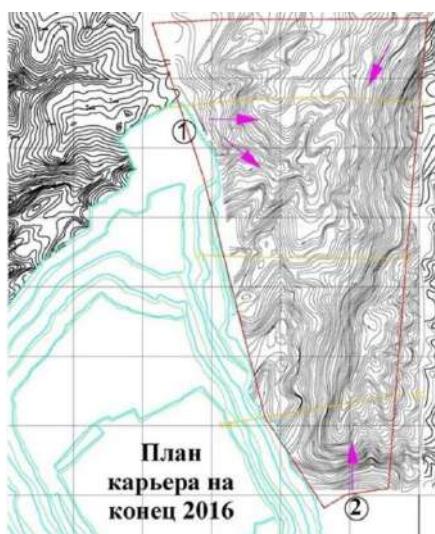


Рисунок 2.1 – Варианты вскрытия Северо-Круторожинского участка

Три базовых варианта вскрытия с разных участков месторождения, были в дальнейшем разбиты на подварианты (вариант 1 разбит на подварианты 1.1-1.6,

вариант 2 – 2.1-2.2), которые отличаются направлением подвигания фронта вскрышных и добычных работ, а соответственно текущими объемами вскрыши. Годовая производительность по полезному ископаемому для всех подвариантов была принята одинаковой. Рассматриваемые варианты отличались значениями текущих коэффициентов вскрыши по годам и расстоянием транспортирования вскрышных пород и полезного ископаемого. Предварительно определить какой вариант будет более предпочтительным, с более низким коэффициентом вскрыши или с минимальным расстоянием транспортирования не представлялось возможным.

Для рассмотренных вариантов были рассчитаны эксплуатационные затраты, которые определялись как сумма следующих слагаемых: затраты на буровзрывные работы (БВР); затраты на выемочно-погрузочные работы (ВПР); затраты на транспортирование полезного ископаемого (ПИ) и вскрыши; дополнительные затраты предприятия в виде арендной платы за использование земель под отвалы (рис. 2.2). Полученные значения себестоимости добычи полезного ископаемого представлены на рис. 2.3.

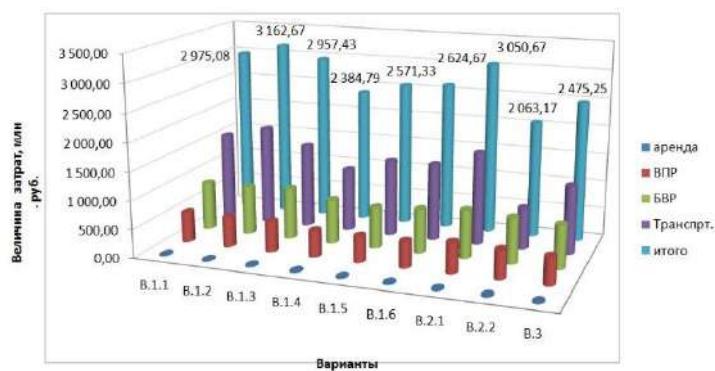


Рисунок 2.2 - Распределение затрат по операциям и по вариантам

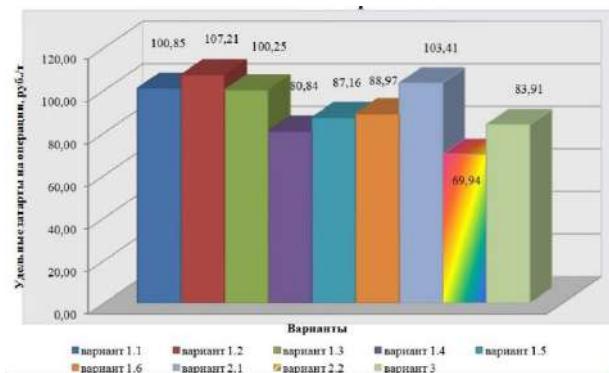


Рисунок 2.3 - Диаграмма средних значений себестоимости по вариантам

По рассматриваемым вариантам существенно изменялся текущий коэффициент вскрыши (рис. 2.4) и расстояния транспортирования горной массы (табл. 2.2).

Таблица 2.1 - Средние расстояния транспортирования горной массы по рассматриваемым вариантам вскрытия

Вариант	Среднее расстояние транспортирования	
	Полезного ископаемого	Вскрыши
1.1	2,7	2,1
1.2	2,1	4,0
1.3	2,0	2,7
1.4	2,1	2,1
1.5	2,1	4,0
1.6	2,8	1,9
2.1	1,2	1,38
2.2	1,2	1,38
3	2,1	2,3

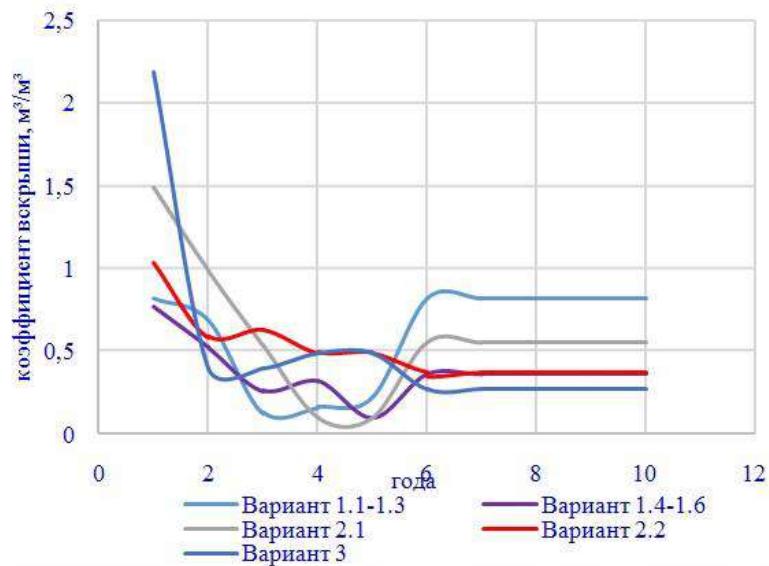


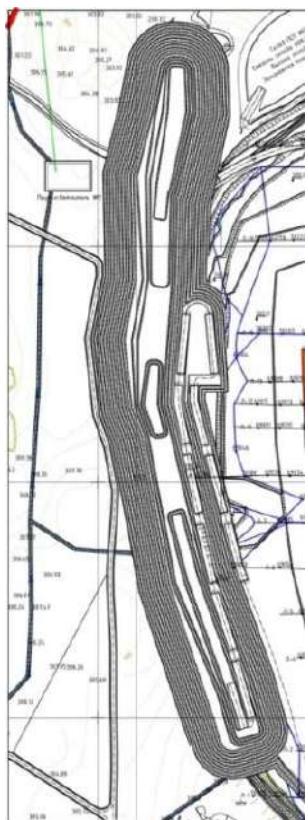
Рисунок 2.4 - Изменение коэффициента вскрыши по вариантам и по годам

Результаты расчетов показали, что для рассматриваемого карьера наиболее выгодным является вариант с наименьшей длиной транспортирования горной массы. Причем коэффициент вскрыши оказал меньшее влияние на технико-экономические показатели, чем длина транспортных коммуникаций. Однако на действующих карьерах, особенно на глубоких, возможности по уменьшению расстояния транспортирования сильно ограничены. Поэтому влияние данных параметров необходимо рассматривать системно.

Также исследования по оценке влияния параметров схемы вскрытия на показатели функционирования горнотехнической системы были выполнены применительно к Аккермановскому месторождению марганцевых руд. Данное месторождение характеризуется малой мощностью и крутым падением рудных тел. В таких условиях оптимизация капитальных и эксплуатационных затрат окажет существенное влияние на итоговые показатели, так как экономическая эффективность освоения данного месторождения достаточно низкая.

Было рассмотрено два базовых варианта вовлечения данного месторождения в разработку, отличающихся конечной глубиной карьера [213]. В каждом варианте выделялись подварианты, которые отличались параметрами схемы вскрытия. Рассматриваемые варианты и подварианты отработки месторождения представлены на рис. 2.5.

ВАРИАНТ 1.1



ВАРИАНТ 1.2



ВАРИАНТ 2.1



ВАРИАНТ 2.2

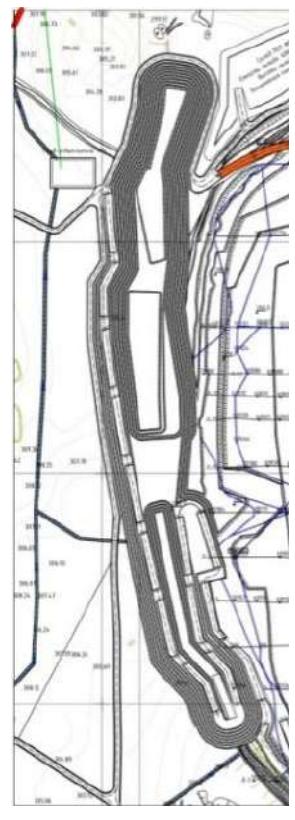


Рисунок 2.5 – Варианты формирования схемы вскрытия Аккермановского месторождения марганцевых руд

Рассматриваемые варианты имеют следующие параметры:

- Вариант 1 предусматривает отработку месторождения до глубины 150 м,

разделен на два подварианта:

- Вариант 1.1 предполагает один выезд, расположенный в южной части карьера. По этому выезду транспортируется руда и вскрышные породы.

- Вариант 1.2 предполагает два выезда из карьера, из которых один расположен в южной части, предназначенный для транспортирования руды, второй выезд расположен в северной части карьера, предназначен для транспортирования вскрышных пород.

- Вариант 2 предусматривает отработку месторождения до глубины 210 м, разделен на два подварианта

- Вариант 2.1 предполагает один выезд, расположенный в южной части карьера. По этому выезду транспортируется руда и вскрышные породы.

Вариант 2.2 предполагает два выезда из карьера, из которых один расположен в южной части, предназначенный для транспортирования руды. Второй выезд расположен в северной части карьера, предназначен для транспортирования вскрышных пород.

Для рассматриваемых вариантов и подвариантов был выполнен горно-геометрический анализ с подсчетом объемов руды и вскрыши в контурах проектируемых карьеров. Выполненные расчеты позволили определить требуемую производительность карьера по вскрыше, при этом производительность по полезному ископаемому для каждого варианта была принята одинаковой. Результаты расчета горно-геометрического анализа для рассматриваемых вариантов представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Результаты горно-геометрического анализа по вариантам

Наименование	Средний коэффициент вскрыши, м ³ /т	Производительность карьера по вскрыше, т/год
Вариант 1.1	15,58	4 6475 415,6
Вариант 1.2	17,16	5 148 257,2
Вариант 2.1	9,62	2 886 176,9
Вариант 2.2	10,3	3 090286,4

Также были определены основные параметры и показатели, характеризующие принятую схему вскрытия и параметры горнотехнической системы. Результаты расчетов представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры и показатели схемы вскрытия и горнотехнической системы

Наименование	Расстояние транспортирования вскрыши, км	Расстояние транспортирования п.и., км	Экскаваторы, шт.	Автосамосвалы, шт.
Вариант 1.1	5,7	4,2	5	17
Вариант 1.2	2,6	4,2	6	12
Вариант 2.1	5,3	3,7	3	11
Вариант 2.2	1,7	3,7	4	7

Результаты выполненных расчетов позволили определить влияние схемы вскрытия на такие параметры и показатели горнотехнической системы, как средний коэффициент вскрыши, годовая производительность по вскрышным породам и потребное количество оборудования для разработки месторождения. Было установлено: увеличение глубины разработки позволит сократить средний коэффициент вскрыши по месторождению на 40% за счет увеличения объемов вовлекаемых в отработку запасов; изменение схемы вскрытия для создания дополнительного выезда их карьера для вскрышных пород ведет к увеличению коэффициента вскрыши на 6,6-9,2%, причем с увеличением глубины карьера влияние схемы вскрытия снижается; формирование дополнительного выезда из карьера позволяет сократить расстояние транспортирования вскрышных пород в 2,2-3,1 раза. На основании выполненных расчетов наиболее целесообразным к применению был определен вариант 2.2., так как данный вариант характеризуется меньшим коэффициентом вскрыши, по сравнению с вариантом 1.1, меньшим расстоянием транспортирования вскрышных пород, по сравнению с вариантом 2.1. Сокращение расстояния транспортирования вскрыши позволяет практически в 2 раза снизить эксплуатационные затраты на разработку вскрышных пород месторождения, а также сократить потребное количество в автосамосвалах. Поэтому в данном случае целесообразным стала проходка дополнительных вскрывающих выработок, увеличение объемов вскрышных пород, вынимаемых из карьера, для сокращения расстояния транспортирования. Данные исследования также показали целесообразность системного подхода к рассмотрению вопросов вскрытия и карьерного транспорта.

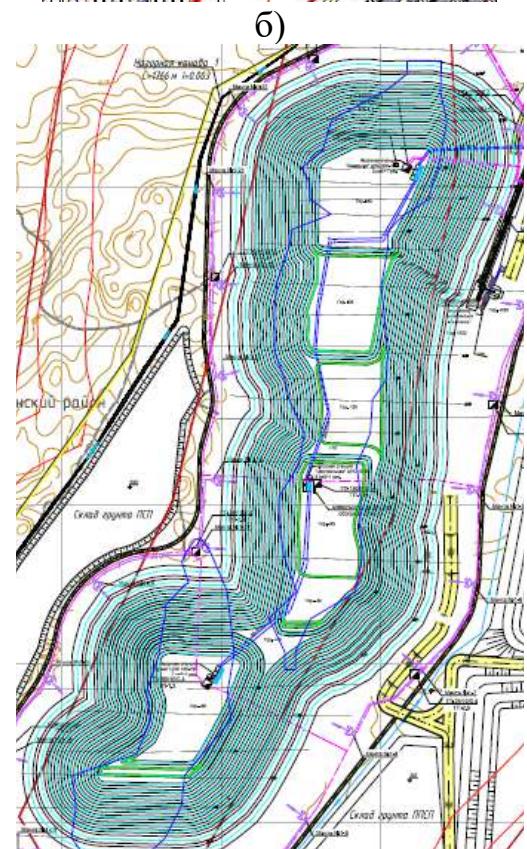
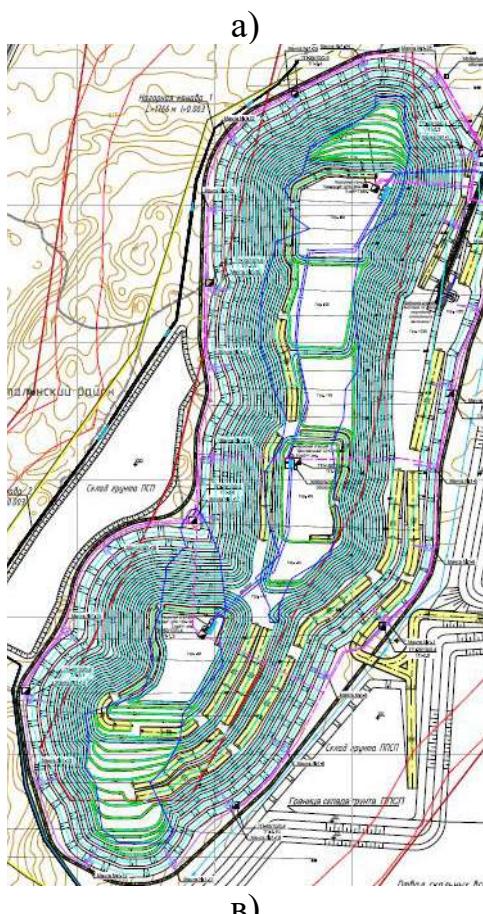
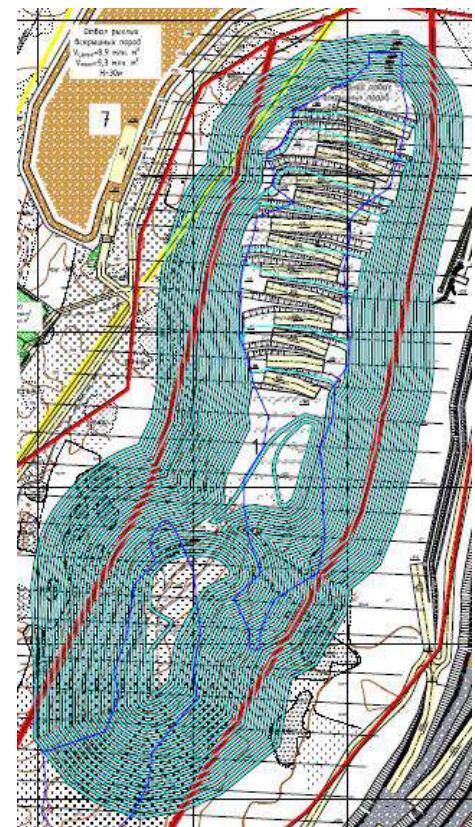
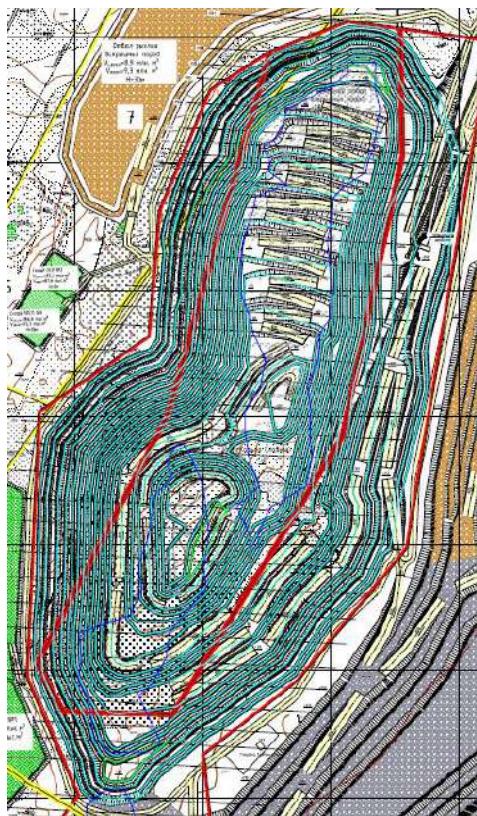
Влияние схемы вскрытия на объемы вскрышных работ в карьере

исследовались проф. О.В. Шпанским (рис. 1.10). Однако построенный по исследованиям проф. О.В. Шпанского итоговый график не позволил установить однозначную зависимость между глубиной карьера и влиянием схемы вскрытия. Очевидно, что существенное влияние оказывает и конфигурация рудного тела, и, соответственно, карьера, которая была значительно различной для рассматриваемых карьеров. Для уточнения данных исследований были проведены расчеты применительно к одному карьеру при разных проектных глубинах. Построения и расчеты были выполнены для условий Михеевского карьера первой очереди и второй очереди (рис. 2.6). При моделировании учитывалось наличие площадок в контуре карьера на конец отработки, которые сформировались исходя из конфигурации рудного тела, такие площадки в результате исключения схемы вскрытия сохранялись. Результаты выполненных расчетов приведены на рис. 2.7.

В результате было оценено влияние схемы вскрытия на средний коэффициент вскрыши по пяти месторождениям, для чего было проанализировано 12 вариантов карьеров с цикличной и ЦПТ технологиями транспортирования пород. Итоговые результаты оценки влияния схемы вскрытия на средний коэффициент вскрыши представлены на рис. 2.8.

Результаты представленные на рис. 2.8 показывают, закономерное увеличение влияния схемы вскрытия на значения среднего коэффициента вскрыши, что свидетельствует о том, что все большие объемы вскрыши необходимо вынимать для размещения на борту транспортных коммуникаций. Для рассмотренных примеров влияние схемы вскрытия на общие объемы вскрышных работ достигает 35%.

Полученные результаты исследования показывают, что с увеличением глубины разработки возрастает чувствительность параметров и показателей горнотехнической системы на изменение параметров схемы вскрытия. Увеличение ширины выработок вскрывающих глубокие горизонты карьеров, при изменении моделей транспорта, приводят к росту объемов дополнительно извлекаемых вскрышных пород, так как требуется изменение конструкции нерабочего борта путем частичного его разноса.



в)

г)

Рисунок 2.6 – Результаты моделирования влияния схемы вскрытия на примере Михеевского карьера: а) со схемой вскрытия карьер 1 очереди; б) без схемы вскрытия карьер 1 очереди; в) со схемой вскрытия карьер 2 очереди; 7) без схемы вскрытия карьер 2 очереди

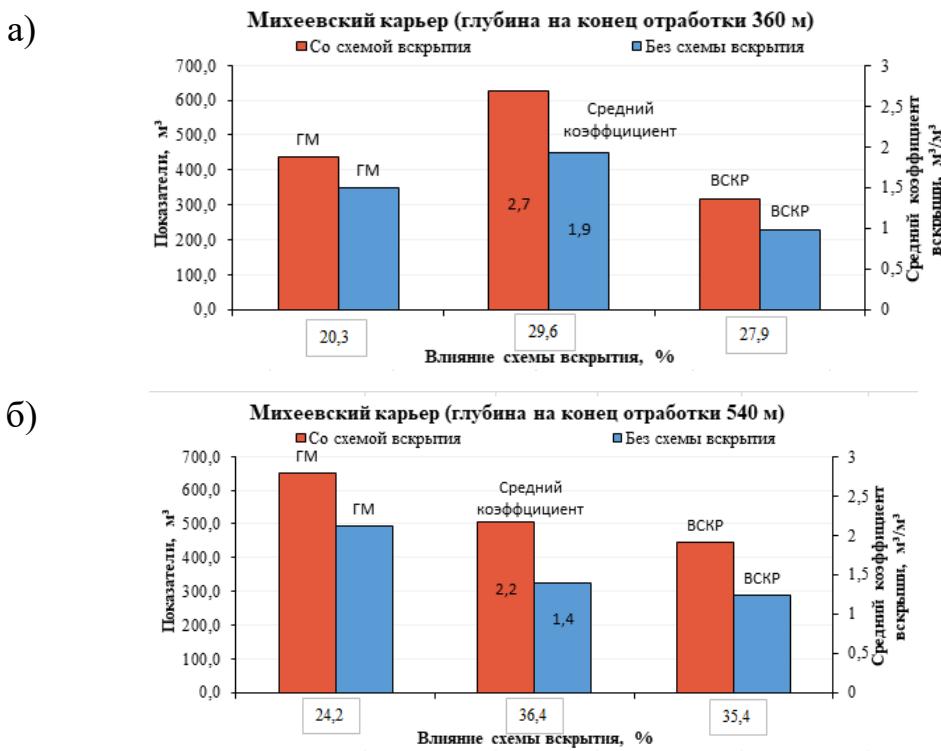


Рисунок 2.7 – Результаты оценки влияния схемы вскрытия для глубины 360 м (а) и глубины 540 м (б)

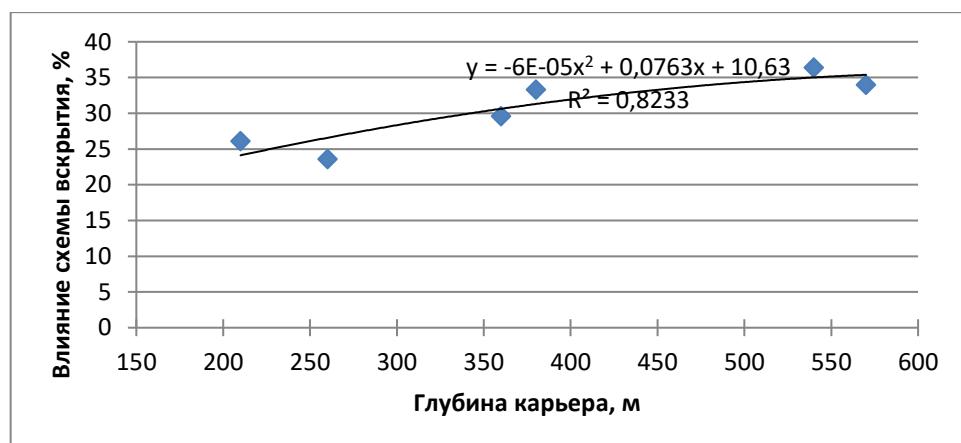


Рисунок 2.8 – Итоговые результаты оценки влияния схемы вскрытия на средний коэффициент вскрыши

По сформированным вскрывающим выработкам организовываются грузопотоки, которые реализуются принятыми видами и моделями карьерного транспорта. Количество автосамосвалов существенно повлияет на капитальные затраты, а в совокупности с протяженностью транспортных коммуникаций и, соответственно, расстоянием транспортирования, эксплуатационные затраты. В диссертации, карьерный транспорт со схемой вскрытия предлагается рассматривать в рамках единой системы – системы вскрытия.

2.2 Роль и место системы вскрытия в структуре горнотехнической системы карьера

Под горнотехнической системой понимается совокупность горных конструкций, технических и технологических подсистем открытых, подземных, открыто-подземных, физико-химических и специальных методов добычи во взаимодействии с вмещающими их участками недр [118].

В редакции [92] горнотехническая система – совокупность горных конструкций, оборудования, технологических процессов горного производства во взаимодействии с вмещающими их участками недр.

Горнотехническая система является крупной системой, включающей достаточно большое количество более мелких систем, которые являются для нее подсистемами. Такое деление крупных систем соответствует положениям метода системного анализа, широко распространенного при проведении различного рода исследований, теории систем и системному подходу, предполагающих, что каждая система имеет определенную структуру, состоит из элементов (подсистем), имеющих определенные связи. В состав горнотехнической системы как при открытом, так и при подземном способе добычи, входят, например, такие крупные системы, как система вскрытия, система разработки и другие. Каждая из данных систем имеет определенные особенности в соответствии с особенностями способа разработки. Способ разработки в первую очередь определяется глубиной ведения горных работ. Факторы, влияющие на обоснование данных систем и глубину разработки, сведены в таблицу 2.4.

Анализ данных факторов показывает, что система вскрытия и система разработки взаимосвязаны и имеют ряд общих влияющих факторов. Также общие влияющие факторы встречаются и при обосновании глубины разработки открытым и подземным способами.

В то же время при рассмотрении проектов и технико-экономических обоснований разработки и реконструкций месторождений видно, что для конкретных горнотехнических условий вариантов выбора способов и схем вскрытия гораздо больше, чем систем разработки по укрупненным группам.

Таблица 2.4 – Анализ факторов, влияющих на обоснование системы вскрытия, системы разработки и глубины ведения горных работ

Способ разработки	Факторы, влияющие на выбор вскрытия месторождения (способа вскрытия, схемы вскрытия, системы вскрытия)	Факторы, влияющие на выбор системы разработки	Факторы, влияющие на обоснование глубины разработки
Открытый	<ul style="list-style-type: none"> • рельеф поверхности; • размеры и форма карьера в плане; • мощность покрывающих пород; • вид транспорта; • угол падения залежи; • степень обводненности месторождения; • условия залегания месторождения; • морфология рудных тел; • положение поверхностных сооружений; • система открытой разработки; • производительность карьера по полезному ископаемому и по вскрыше; • тип технологического потока; • капитальные затраты; • эксплуатационные расходы 	<ul style="list-style-type: none"> • условия залегания; • длина карьерного поля и его ширина по поверхности; • вертикальная мощность залежи и вскрышных пород для горизонтальных и пологопадающих залежей или горизонтальная мощность и ее площадь на каждом горизонте для наклонных и крутопадающих залежей; • режим горных работ; • форма залежи; • вскрытие карьерного поля; • технология и механизация работ; • качество полезного ископаемого 	<ul style="list-style-type: none"> • мощность залежи; • угол падения залежи; • длина рудного тела в контуре карьера; • углы откоса бортов карьера параметры въездной траншеи; • содержание ценных компонентов в полезном ископаемом; • гидрогеологическая характеристика района производства работ; • цена на добываемое сырье; • наличие попутных полезных ископаемых; • капитальные и эксплуатационные затраты на добычу; • наличие ограничений на развитие карьера в плане
Подземный	<ul style="list-style-type: none"> • местные условия (рельеф поверхности, наличие водоемов); • угол падения залежи, • длина шахтного поля; • производственная мощность рудника (от параметров рудной залежи, плотности руды); • капитальные затраты; • эксплуатационные расходы; • глубина работ; • число вскрываемых пластов; • свойства боковых пород; • расстояние между пластами; • мощность наносов; • нарушенность месторождения; • газоносность пластов; • способ подготовки шахтного поля; • системы разработки; • схемы вентиляции 	<ul style="list-style-type: none"> • мощность залежи, • угол падения месторождения, • устойчивость руды и вмещающих пород; • ценность руды, • строение пластов, • возможность обрушения поверхности, • форма месторождения; • склонность руды к самовозгоранию, слеживанию и окислению; • характер распределения компонентов в руде; • глубина разработки; • необходимость сохранения земной поверхности; • безопасность работ и экономическая эффективность; • свойства боковых пород; • газообильность разрабатываемого пласта; • технология и механизация очистных и подготовительных работ; • плановая производственная мощность предприятия 	<ul style="list-style-type: none"> • мощность залежи; • угол падения залежи; • глубина распространения рудного тела; • содержание ценных компонентов в полезном ископаемом; • гидрогеологическая характеристика района производства работ; • цена на добываемое сырье; • капитальные и эксплуатационные затраты на добычу

Например, ориентируясь на наиболее распространенную классификацию систем разработки при открытом способе разработки, предложенную акад. В.В. Ржевским [188] видно, что для глубокозалегающих крутопадающих месторождений подходит только углубочная система разработки, но при этом возможны различные варианты развития рабочей зоны, что уже является подгруппой системы разработки. Причем со временем на различных этапах разработки группа системы разработки не поменяется. В свою очередь, на таком типе месторождений возможно применение различных групп способов и схем вскрытия, причем с глубиной разработки они могут изменяться. Схожая ситуация и при подземном способе разработки. Например, для месторождений малоценных руд могут рассматриваться, в основном, только системы с обрушением вмещающих пород ввиду их относительной дешевизны [2, 3, 109, 110]. При этом вариантов вскрытия данных месторождений может быть значительное множество. При комбинированном способе разработки будет аналогичная тенденция. Рассмотренная в главе 1 практика освоения месторождений открыто-подземным способом показала, что первые по глубине ярусы часто вскрываются наклонными автомобильными стволами, пройденными с поверхности или с нерабочих площадок карьеров. С увеличением глубины разработки переходят на вскрытие стволами. Группы или классы систем разработки при этом остаются неизменными. Поэтому системы разработки при открытом, подземном и открыто-подземном способах разработки выбираются под тип месторождения и условия его залегания, и предполагают в ходе разработки условно постоянные затраты. Для одной и той же системы разработки, возможно много различных вариантов схем вскрытия. Вскрытие запасов имеет более тесную связь с глубиной ведения горных работ, а соответственно, сроком разработки данного месторождения. Соответственно, в зоне неоднозначного выбора способа разработки, именно от системы вскрытия будет зависеть глубина перехода с одного способа разработки на другой.

Как было рассмотрено выше, система вскрытия является капиталоемкой и затратной. Капитальные затраты связаны с проходкой вскрывающих выработок,

их оснащением, закупкой транспорта. Эксплуатационные затраты связаны с доставкой горной массы к местам хранения, переработки или потребления. Система вскрытия - не единственная система в структуре горнотехнической системы, включающая функцию доставки горной массы. Существующие подходы и направления научных исследований по-разному рассматривают структуру ГТС и, соответственно, выделяют в ней определенные подсистемы и элементы. В исследования [204] ГТС рассматривается как совокупность технической, технологической и организационной систем. По мнению автора, это позволяет определять рациональную структуру резервов в горнотехнической системе. Подход, предложенный в [247], рассматривает ГТС тождественно понятию «горнодобывающее предприятие» (шахта) и определяет её как совокупность методов отработки угольного пласта в конкретных горно-геологических условиях, при определенной композиции и взаимосвязи элементов процесса угледобычи (основных подсистем). Такое рассмотрение позволяет оптимизировать параметры подсистем и минимизировать затраты ресурсов. В работе [122], ГТС рассматривается применительно к комбинированной геотехнологии и разделяется по количеству формируемых ярусов (открытый, открыто-подземный, подземный). Такой подход позволяет учитывать особенности технологии производства горных работ в каждом ярусе и, что особенно важно, сочетаемость данных работ и процессов в рамках освоения одного месторождения. При рассмотрении ГТС как системы, в составе которой наиболее ресурсоемкими элементами являются вскрытие и транспортирование горной массы, в ее структуре можно выделить следующие подсистемы (системы): система вскрытия [216, 187, 217], система разработки [187, 216], транспортная система [250, 256], горнотранспортная система [98], логистическая система (управление грузопотоками) [1] (рис. 2.9). Понятие «система вскрытия» было дано академиком В.В. Ржевским [217] и получило развитие в трудах академика К.Н. Трубецкого [187, 216]. В предлагаемых ими формулировках оно тождественно определению «генеральная схема вскрытия», смысль которого продемонстрирован на рис. 2.8.

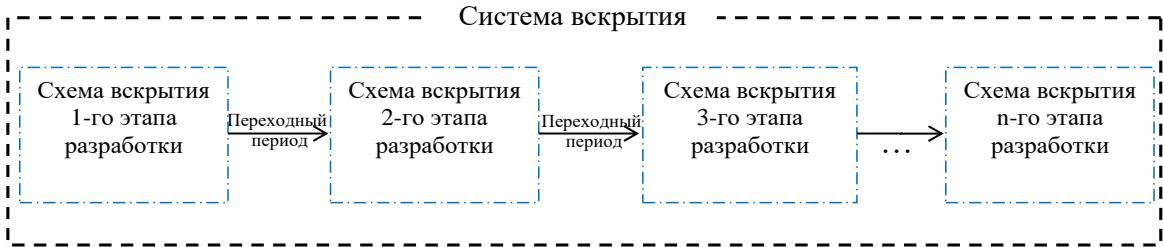


Рисунок 2.8 - Система вскрытия при поэтапной разработке глубоких карьеров

Однако, как показывает сложившаяся практика, понятие «система вскрытия» редко используется при проектировании и выполнении научных исследований, так как вопросы вскрытия и карьерного транспорта рассматриваются в составе разных систем. Например, выбор и обоснование вскрытия производится в рамках понятия «способ вскрытия» и «схема вскрытия», предложенного академиком В.В. Ржевским, вопросы карьерного транспорта рассматриваются в составе транспортной системы, предложенной членом-корреспондентом РАН В.Л. Яковлевым, связь карьерного транспорта с системой разработки в составе горнотранспортной системы, предложенной профессором А.Ю. Дриженко.

Транспортная система карьера – это совокупность транспортных коммуникаций, технических средств транспорта и вспомогательных устройств, предназначенных для перемещения технологических и прочих грузов в карьерах и на поверхности [252].

Горнотранспортная система – это целостные образования средств подвижного состава и выемочно-погрузочного оборудования, а также конструкции откаточных выработок в комплексе с системой вскрытия карьеров с соответствующими внутренними и внешними связями [98]. На основе данного определения Дриженко А.Ю. предлагает классификацию системы открытой разработки по признаку развития рабочей зоны и наличия в ней средств карьерного транспорта, как единой горнотранспортной системы. Однако в данной классификации отсутствуют конкретные виды и типы карьерного транспорта, а лишь более детализированы условия развития рабочей зоны, являющиеся источниками начала грузопотоков.

Логистическая система – это система, управляющая потоками, в том числе транспортными [1, 157]. На карьерах, логистическая система — это система управления грузопотоками, которые представляют собой поток грузов

определенного качества, характеризуемый сравнительно устойчивым направлением и определенным объемом перевозок в единицу времени [188].

Все данные системы можно выделить в структуре горнотехнической системы, они являются взаимосвязанными (рис. 2.9).

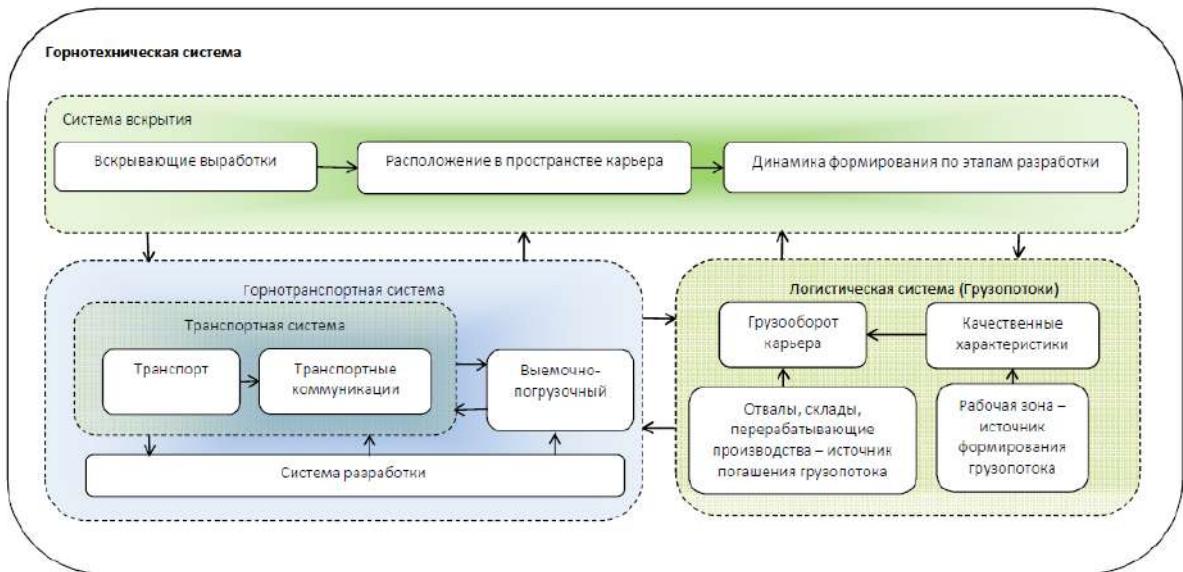


Рисунок 2.9 - Подсистемы горнотехнической системы определяющие вскрытие горизонтов и транспортирование горной массы

Множество подходов к рассмотрению структуры ГТС [30] привели к тому, что авторы выделяют различные системы и подсистемы ГТС в зависимости от целей исследования. Выполненный в работе [30] анализ функционирования ГТС позволил установить:

- значительное влияние внешней среды на ГТС и её подсистемы, характеризующиеся множеством экономических, экологических, социальных и организационно-технологических факторов;
- отсутствие системной реализации принципов концепции устойчивого развития в ГТС и её подсистемах;
- значимость системы вскрытия, как основного элемента устойчивого развития и функционирования ГТС.

Оценка функционирования ГТС, а также целесообразности её развития является сложной многовариантной задачей, требующей анализа множества разнообразных показателей всех подсистем, входящих в состав ГТС. Таких подсистем в структуре ГТС может быть от трёх до семи, каждая из которых оказывает различное влияние на устойчивость функционирования и развития ГТС. Подсистемы ГТС являются частично вложенными, так как у них имеются общие элементы. Также рассматриваемые подсистемы связаны прямыми и

обратными связями (рис. 2.10).

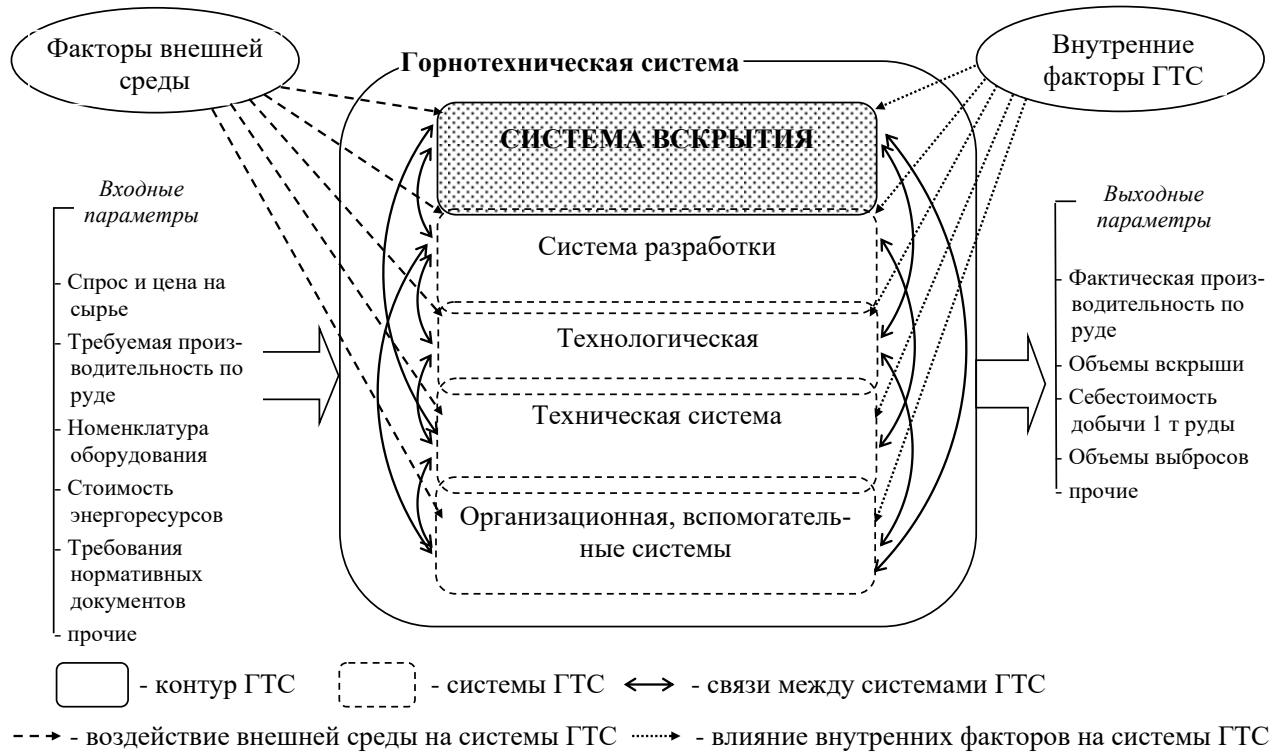


Рисунок 2.10 - Система вскрытия в структуре горнотехнической системы

Несистемное принятие решения по выбору карьерного транспорта и схемы вскрытия при проведении технического перевооружения и обоснования параметров вскрывающих выработок приводят к снижению эффективности функционирования вводимых моделей автосамосвалов. Данное несоответствие наблюдалось, например, при техническом перевооружении Киембаевского карьера. На данном карьере было произведено техническое перевооружение в течение запроектированного этапа разработки путем перехода с автосамосвалов БелАЗ 7555, грузоподъемностью 55 т на автосамосвалы Terex TR100 и CAT 777F, грузоподъемностью 90 т. В результате существующие параметры транспортных коммуникаций не соответствовали возможностям организации двухстороннего движения для новых моделей автосамосвалов. Для приведения схемы вскрытия в состояние, обеспечивающее возможность двухстороннего движения, необходим разнос борта карьера, который по продолжительности достигает 1,5-1,7 года (рис. 2.11). До реконструкции схемы вскрытия и приведения параметров вскрывающих выработок в соответствии с параметрами новых самосвалов система не будет работать эффективно.

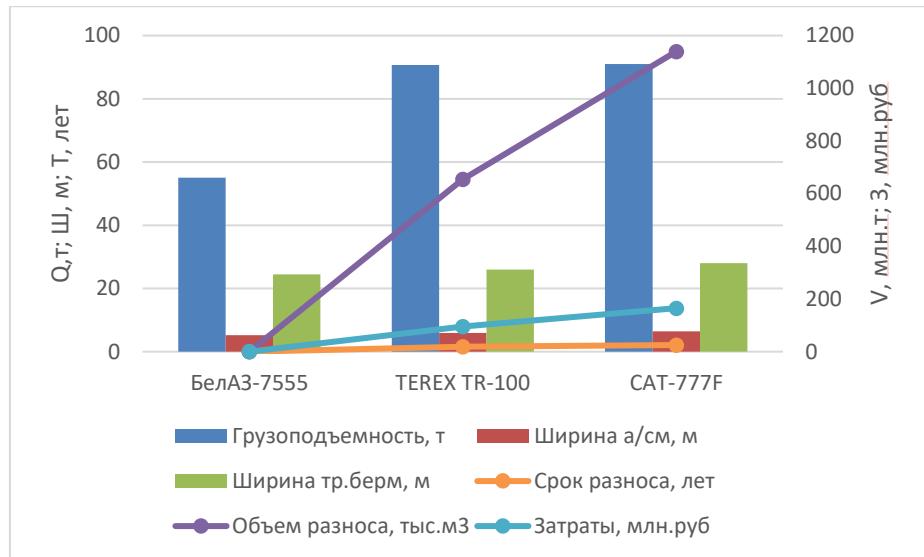


Рисунок 2.11 – Параметры реконструкции системы вскрытия на Киембаевском месторождении

Взаимосвязь вскрытия и системы разработки проявляется через параметры применяемого в карьере оборудования. Так, система разработки и ее основные параметры тесно связаны с типом и видом принятого для ведения работ в карьере выемочно-погрузочного оборудования. Экскаваторы являются ведущим оборудованием для карьеров, их выбор производится первоочередно и соответствует установленной высоте уступа. В то же время для принятого в проекте или имеющегося на карьере выемочно-погрузочного оборудования возможно достаточно большое разнообразие вариантов выбора карьерных автосамосвалов как по грузоподъемности, так и по производителям карьерной техники. Для одной и той же вместимости ковша, при известном рекомендуемом соотношении геометрических емкостей ковша экскаватора и кузова автосамосвала [187], возможны варианты выбора автосамосвалов с различной грузоподъемностью. Параметры выбранных автосамосвалов повлияют на параметры вскрывающих выработок, т.к. для конкретной модели автосамосвала необходима определенная ширина транспортных берм [15, 205, 221]. Взаимовлияние данных параметров представлено на рис. 2.12. Анализ полученных зависимостей показывает, что для принятого типа выемочно-погрузочного оборудования и параметров системы разработки, типы транспортных средств и параметры вскрывающих выработок могут варьироваться в достаточно широких пределах. Зависимости были получены для условий усредненных свойств скальных вскрышных пород (рис.

2.12 а) и руды (2.12 б).

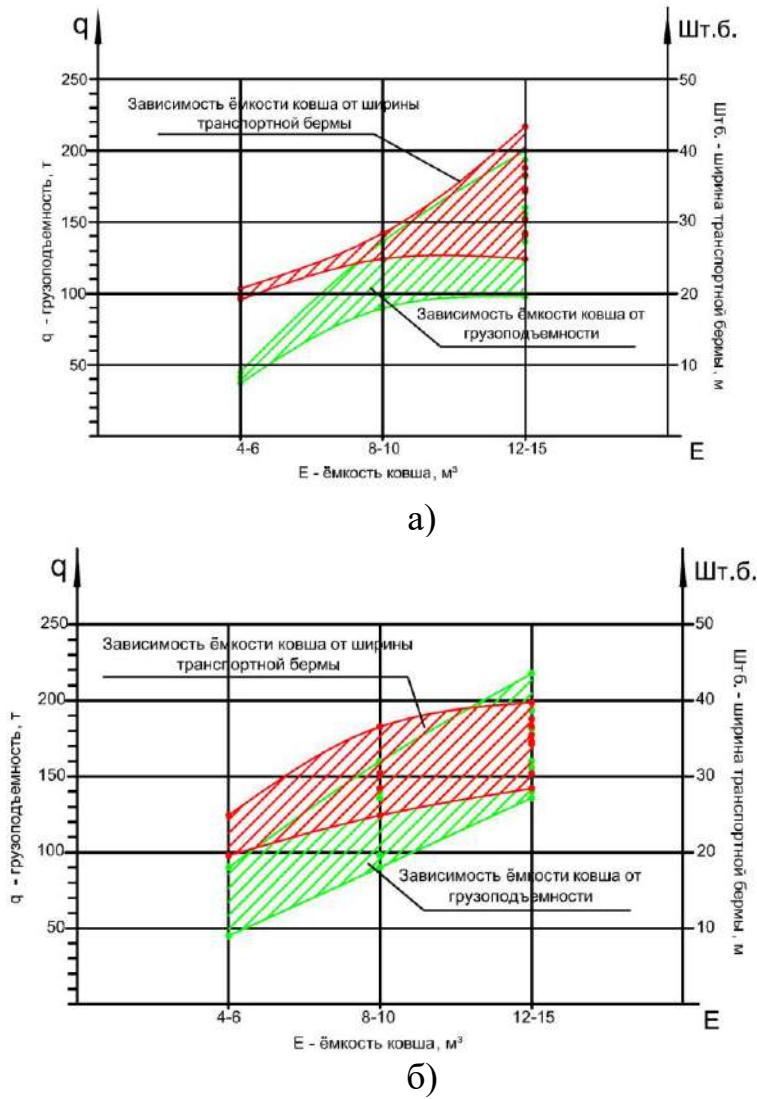


Рисунок 2.12 - Зависимость параметров транспортных коммуникаций в карьере от применяемого в карьере оборудования: а) при плотности разрабатываемых пород $2,7 \text{ т/м}^3$; б) при плотности разрабатываемых пород $3,5 \text{ т/м}^3$

Система вскрытия создается под определенный вид транспорта, и по мере увеличения глубины разработки она может изменяться. В карьере может добавляться дополнительный вид или виды транспорта, меняться тип транспорта, соответственно, будут производиться изменения и в системе вскрытия - изменяются параметры вскрывающих выработок, добавляются новые выработки, формируется транспортный доступ на глубокие горизонты без проходки вскрывающих выработок. Все вскрывающие выработки оборудуются коммуникациями для условий функционирования по ним транспорта. Как было отмечено в главе 1, происходящий прогресс в видах и типах транспортных средств

приводит к необходимости пересмотра определения системы вскрытия, так как в существующем виде данное понятие практически не используется, и не позволяет характеризовать систему вскрытия при использовании некоторых современных транспортных средств, используемых при производстве горных работ на глубоких горизонтах. О влиянии технического и технологического прогресса на совершенствование терминологической базы в горном деле говорится в [193], где отмечается, что изменения, произошедшие в технологии разработки месторождений подземным способом, привели к необходимости пересмотра базового понятия системы разработки. Очевидно, что такая необходимость возникла и применительно к понятию «система вскрытия». Ориентируясь на принципы системного подхода [13] и учитывая все вышесказанные недостатки, предлагается уточнить существующее определение. Рассматривая систему вскрытия как подсистему горнотехнической системы, в каждый элемент ГТС входит соответствующий элемент подсистемы вскрытия (рис. 2.13). Данный подход позволяет уточнить понятие системы вскрытия.

Под **системой вскрытия** предлагается понимать подсистему горнотехнической системы, предназначенную для обеспечения доступа к месторождению или его локальному участку, формирования и осуществления грузопотоков полезного ископаемого, вскрытых пород, оборудования и материалов, и состоящую из вскрывающих выработок, транспортных средств и устройств, внутрикарьерных пунктов перегрузки горной массы. Система вскрытия характеризуется числом и назначением ее элементов, параметрами связей между ними и продолжительностью функционирования элементов системы вскрытия в неизменном виде.

Предлагаемый в работе подход также позволит приблизить терминологическую базу открытого и подземного способов разработки, так как при характеристике и экономической оценке вариантов вскрытия при подземном способе разработки шахтный транспорт учитывается.

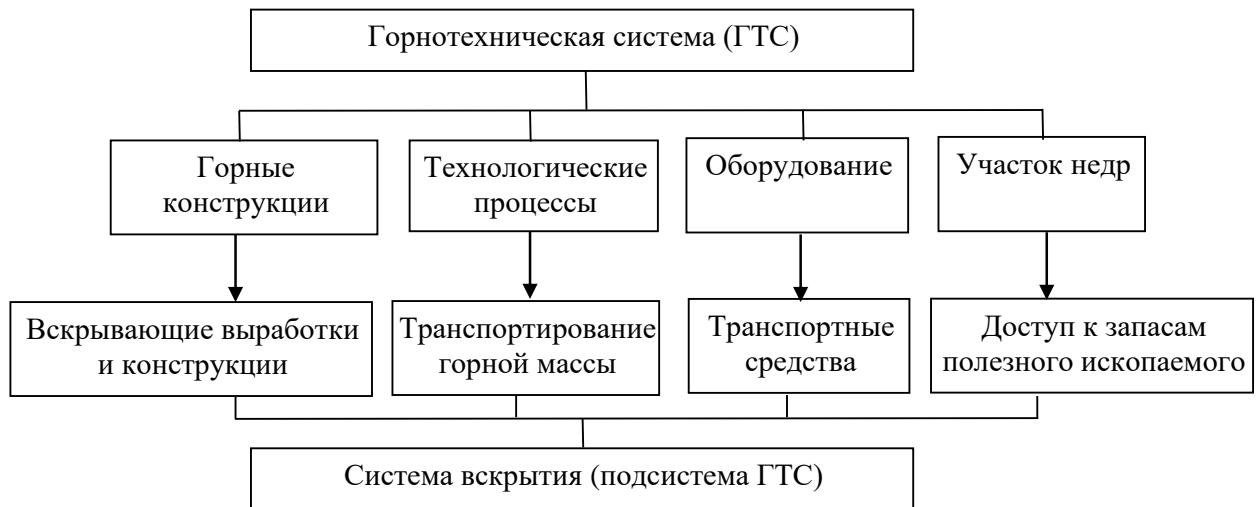


Рисунок 2.13 - Элементы системы вскрытия как подсистемы ГТС

В соответствии с предлагаемым определением увеличивается количество элементов и их параметров, которые должны отражаться в классификации системы вскрытия. Сопоставление учитываемых элементов и параметров по сравнению с существующими определениями и классификациями способа вскрытия и схемы вскрытия представлено в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Элементы и параметры, учитываемые в системе вскрытия

Вид и тип транспорта	Тип вскрывающей выработки или конструкции	Параметры выработок или конструкций (ширина, угол наклона) вскрывающей выработки или конструкции	Форма трассы	Диапазон использования по глубине карьера (от...до..)	Тип перегружочного пункта	Глубина расположения перегружочного пункта	Планируемый период использования	Назначение выработок (конструкций)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Способ вскрытия								
Схема вскрытия								
Система вскрытия								

Основные источники снижения затрат при разработке крутопадающих месторождений открытым способом являются: по видам работ - затраты на вскрышные работы (при коэффициентах вскрыши более $1,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$); по технологическим процессам - затраты на транспортирование горной массы. Затраты на карьерный транспорт составляют до 70-80%, а затраты на вскрышные работы составляют до 50% и более, в зависимости от среднего эксплуатационного коэффициента вскрыши и принятого режима горных работ (рис. 2.14). При производстве вскрышных работ до 35% составляют объемы и затраты на формирование схемы вскрытия. Рассматривая данные затраты в структуре

системы вскрытия, возможно объединить более 50% приведенных затрат, т.е. затрат, учитывающих как капитальные вложения, так и текущие затраты, что позволяет принимать и оптимизировать решения в самой затратной подсистеме горнотехнической системы, значительно влияющей на эффективность ее функционирования и развития.

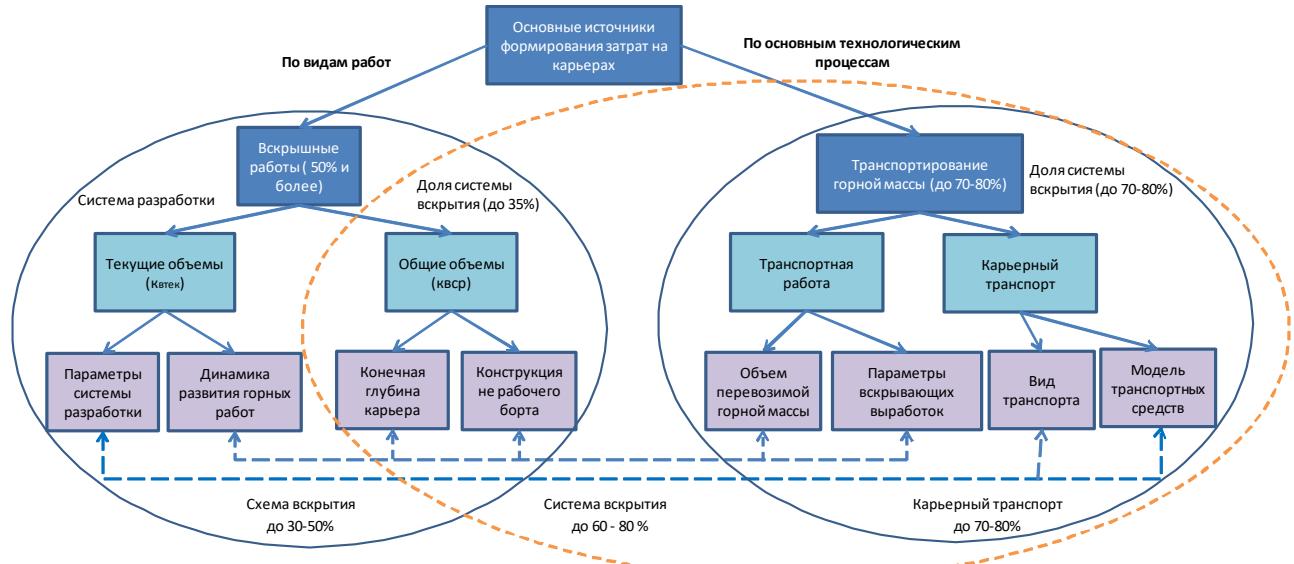


Рисунок 2.14 – Основные виды затрат определяющие эффективность ГТС при открытом способе разработки

Помимо сосредоточения существенной доли затрат, элементы, входящие в систему вскрытия, оказывают наибольшее воздействие на окружающую среду (выбросы загрязняющих веществ, вскрышные породы от формирования схемы вскрытия), а также в данной системе задействована большая часть персонала горнодобывающих предприятий. Количество транспортного оборудования превышает 2,1-3,7 раза количество всех остальных видов оборудования по основным технологическим процессам для условий отработки глубоких горизонтов карьеров (рис. 2.15), соответственно, в технологическом процессе транспортирования горной массы будет задействовано наибольшее количество персонала. На примере карьеров, представленных на рис. 2.15, определено, что на долю карьерных автосамосвалов приходится от 60 до 75% объема выбросов (рис. 2.16). Для условий использования в карьерах электрических экскаваторов и электрических буровых станков с системами пылеулавливания, объем выбросов загрязняющих веществ от применения автомобильного транспорта в карьере приблизится к 85-90%

от всех выбросов. В процессе работы автомобильного транспорта выбросы в атмосферу поступают от работы дизельных двигателей, пыления транспортируемых материалов, пыления дорог, пыления при погрузке и разгрузке самосвалов. При этом не учтены залповые выбросы при производстве взрывных работ, так как они не носят постоянный характер и до рассеивания пылегазового облака, согласно действующим нормативным документам в области охраны труда и промышленной безопасности, не разрешается допуск персонала в рабочую зону, соответственно, данные выбросы не оказывают негативного воздействия на условия работы персонала в карьере.

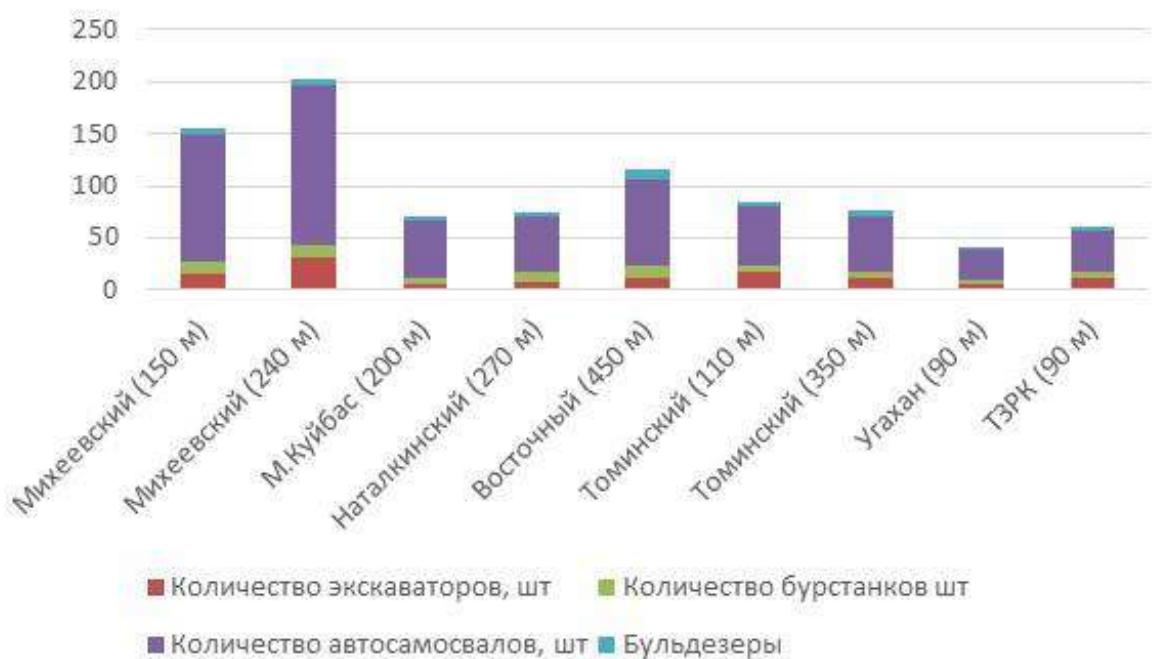


Рисунок 2.15 – Количество оборудования для выполнения основных технологических процессов в карьерах

Таким образом, в системе вскрытия сосредоточена большая часть экономических, экологических и социальных факторов функционирования ГТС. Данные факторы всегда учитываются при оценке устойчивого развития систем различного назначения [108, 135]. Некоторыми авторами, в зависимости от специфики проводимых исследований, при оценке устойчивого развития систем помимо вышеперечисленных дополнительно учитываются другие факторы [137, 143, 268].

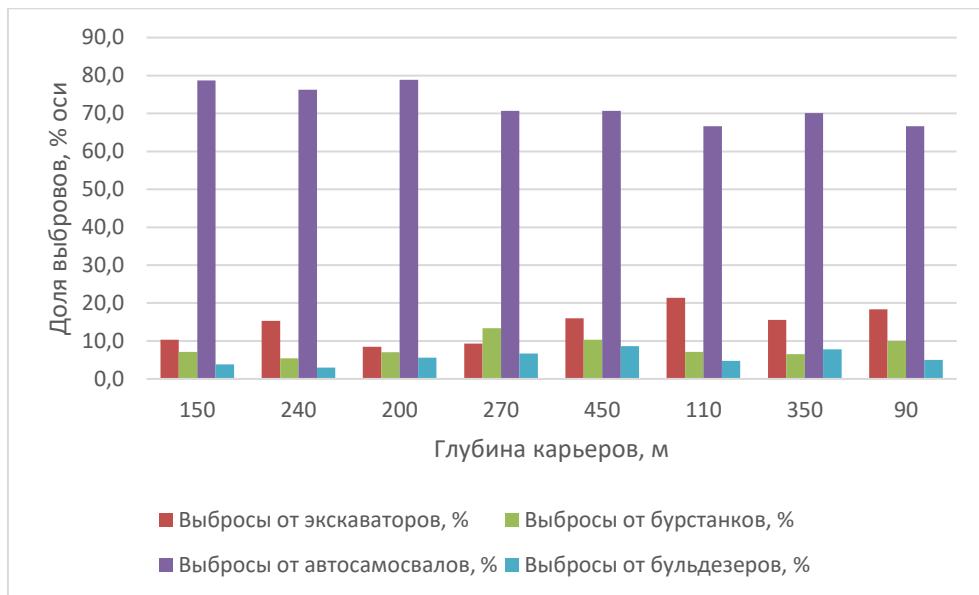


Рисунок 2.16 – Выбросы загрязняющих веществ от работы оборудования в карьере

Изменение системы вскрытия наиболее трудоемко и затратно при переходе на новый этап разработки, что существенно отражается на эффективности функционирования горнодобывающих предприятий, а сущность и продолжительность производимых изменений необходимо дополнительно исследовать.

Поэтому система вскрытия выбрана как объект исследований в периоды перехода на новые этапы разработки месторождений. При этом этапы вскрытия и этапы разработки крутопадающих месторождений могут не совпадать. Для выбора возможных вариантов развития системы вскрытия необходимо определить параметры, которыми она характеризуется.

2.3 Обоснование параметров системы вскрытия при освоении запасов глубоких горизонтов

В литературе, в зависимости от целей исследований, понятие «эффективность» встречается как экономическая, социальная и экологическая. В общем виде эффективность – это отношение достигнутого результата к затратам на реализацию решений. В современных условиях деятельность горнодобывающих компаний должна быть ориентирована на достижение не только экономической, но и социальной и экологической эффективности. Результаты деятельности компаний изменяются во времени ввиду воздействия внешних и внутренних факторов.

Эффективной является компания устойчивая к изменению влияющих факторов. В работе [90], устойчивость горного объекта рассматривают как способность функционировать с заданными параметрами в определённых условиях в течение требуемого отрезка времени. Исходя из данного определения в работе, *под устойчивым функционированием горнорудного предприятия* понимается его способность эффективно производить горные работы на месторождении и обеспечивать заданные параметры и показатели в течение всего периода освоения запасов при воздействии изменяющихся факторов внешней и внутренней среды. Современные тенденции в деятельности горнодобывающих компаний также направлены на соответствие целям устойчивого развития и ESG (Environmental, Social, Governance).

Большинство существующих формулировок понятия «устойчивое развитие» соответствует определению, изложенному в Концепции устойчивого развития в Программе «Повестка дня на XXI столетие» [281], и предполагает функционирование экономической системы на благо социума без нарушения окружающей экологической среды, в результате чего существующие в мире ресурсы должны быть сохранены для будущих поколений. Применительно к ГДП это означает проектирование и планирование горных работ на месторождении для достижения разумного баланса между экономическим, социальным, экологическим развитием предприятия и потребностями потребителей сырья. В соответствии с Программой [281], различные предприятия начали активно разрабатывать стратегии по приведению своей экономической деятельности к принципам устойчивого развития. Многие крупные горнодобывающие компании и холдинги, разрабатывающие рудные месторождения, например Русская медная компания, Норильский никель, УГМК и другие, разрабатывают собственные программы устойчивого развития.

На уровне компаний концепция устойчивого развития рассматривается как «Концепция тройного критерия» (Triple Bottom Line), согласно которой в корпоративном процессе принятия решений учитываются не только финансовые показатели, но также социальные и экологические результаты деятельности компании [169]. В зарубежных исследованиях активно развиваются подходы, основанные на использовании понятий «зелёная» добыча (green mining) [352-286] и геометаллургия (geometallurgy) [284, 264], доказано, что их реализация в значительной

степени будет определять развитие горнодобывающей промышленности в будущем. Принципы ESG близки к принципам устойчивого развития. Принципы ESG (экология, социальная политика и корпоративное управление), предполагают устойчивое развитие коммерческой деятельности на основе ответственного отношения к окружающей среде; высокой социальной ответственности, высокое качество корпоративного управления. Можно сделать вывод, что принципы устойчивого развития, ESG, «зелёной» добычи и геометаллургии направлены на достижение разумного баланса экономической, экологической и социальной эффективности деятельности горнодобывающих предприятий.

В соответствии с данными теориями, горнодобывающим компаниям необходимо ориентироваться не на получение прибыли в краткосрочной перспективе, а полноту освоения запасов месторождений. Это влияет на успех в бизнесе и экологическое выживание в долгосрочном периоде и требует изменения финансовых показателей и расходов в краткосрочной перспективе. Такой подход должен быть ориентирован для всех уровней управления предприятий, входящих в структуру минерально-сырьевого комплекса страны (рис. 2.17).

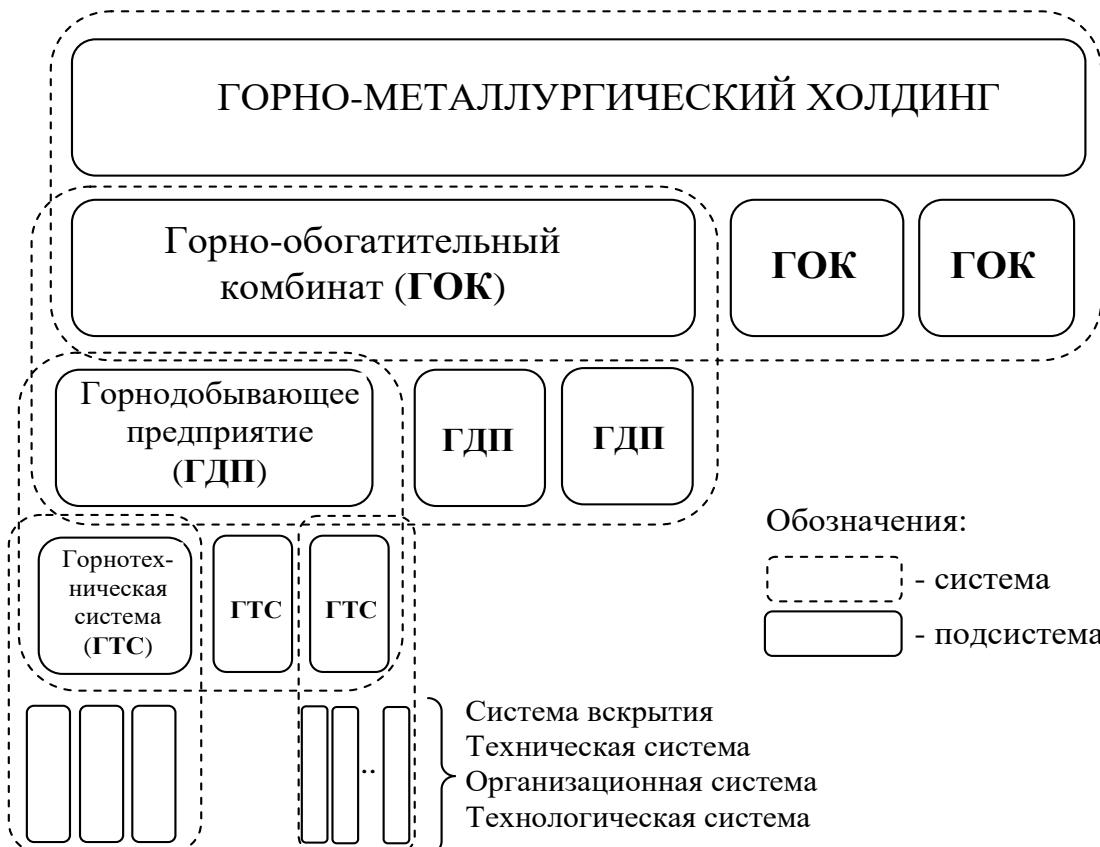


Рисунок 2.17 - Схема иерархической структуры крупных горнодобывающих компаний

В соответствии с вышерассмотренными подходами под *устойчивым функционированием системы вскрытия* предлагается понимать ее проектирование и формирование, основанное на применении современных транспортных средств и устройств с соответствующим размещением и развитием вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, предполагающее их использование не только на текущем, но и на последующих этапах разработки месторождения и направленных на достижения разумного баланса между экономическим, социальным и экологическим развитием предприятия для повышения полноты освоения запасов месторождений в течение всего жизненного цикла горнодобывающего предприятия.

Сложность оценки устойчивости функционирования ГТС и системы вскрытия заключается в недостаточно исследованных взаимосвязях показателей и параметров подсистем ГТС, а также в отсутствии методик комплексной оценки множества параметров и показателей системы вскрытия и её элементов. В качестве элементов системы вскрытия в настоящей работе выделены вскрывающие выработки, транспортные коммуникации и конструкции, транспортные средства, внутрикарьерные пункты перегрузки горной массы и грузопотоки полезного ископаемого и вскрышных пород.

Рассмотрение системы вскрытия с одной стороны, как связующей подсистемы в технологических процессах вскрышных и добывчных работ, с другой, как основной подсистемой, обеспечивающей эффективное функционирование и развитие ГТС, позволило сгруппировать внешние и внутренние факторы, влияющие на функционирование системы вскрытия (табл. 2.5). Учет технических, технологических, экономических, социальных и экологических факторов обеспечивает эффективность функционирования ГТС в изменяющихся условиях внешней и внутренней среды.

Представленная на рис. 2.13 структура системы вскрытия, а также обозначенные выше подходы к обеспечению эффективности функционирования и развития ГТС используются как основа для разработки параметров и показателей оценки системы вскрытия.

Таблица 2.5 – Факторы, влияющие на эффективность функционирования и развития системы вскрытия

Факторы	Внешние	Внутренние
Технические	Технический прогресс в области карьерного оборудования	Моральный и физический износ оборудования
Технологические	Реализация инновационных решений в карьере	Рост протяженности вскрывающих выработок, усложнение схемы вскрытия
Экономические	Изменения цен и спроса на рынках минерального сырья, требования к качеству продукции	Рост затрат на развитие системы вскрытия
Экологические	Ужесточение требований нормативных документов по охране окружающей среды, рост платежей за загрязнение окружающей среды	Рост негативного экологического воздействия
Социальные	Изменения нормативных требований к условиям труда персонала	Условия работы персонала

Выполненный литературный обзор показал, отсутствие единого подхода к оценке ГТС и её подсистем. В табл. 2.6 представлены результаты анализа существующих параметров оценки ГТС и системы вскрытия, сгруппированные в соответствии с факторами эффективного функционирования и развития ГТС [337].

Таблица 2.6 - Результаты анализа существующих параметров и показателей оценки ГТС и системы вскрытия

№	Факторы / Элементы	Параметры / Показатели	Источник
1.	<i>Геологические (Качественные) [273]</i>		
	Характеристика полезного ископаемого	Качество и объем полезного ископаемого в массиве	[273,274]
		Качество добытого полезного ископаемого	[273,270]
	Характеристика месторождения	Геология месторождения	[273,272,345,267]
		Погодные условия	[361,333]
		Коэффициент вскрыши	[188,345]
2.	<i>Технические факторы [93,252,345,267,361, 315,316, 285]</i>		
	Вид транспорта	Использование одного вида транспорта (автомобильный, железнодорожный, конвейерный)	[140,361,357,353]
		Рабочие параметры оборудования	[273,265,266]
		Использование комбинированного транспорта	[252,202,181,178]
		Совместимость оборудования	[87,189,345]
		Срок службы	[267,316]
		Эргономика	[345,357,301]
		Уровень автоматизации и роботизации	[54,34,357]
	Перегрузочные пункты	Глубина расположения	[233,330,346]
		Производительность пункта	[209]
		Количество пунктов в карьере	[250,332]
3.	<i>Технологические факторы [353,243]</i>		

№	Факторы / Элементы	Параметры / Показатели	Источник
4.	Производственные	Производительность по полезному ископаемому	[272,345,283]
		Техногенные риски	[361,308]
		Продолжительность разработки	[227,345]
		Режим работы	[224,283]
	Параметры системы разработки	Высота уступа	[345,267,266]
		Параметры берм	[266,298]
		Углы откосов	[266]
	Вскрывающие выработки	Глубина вскрываемой части карьера	[86,89,103,233]
		Ширина (сечение) выработки	[140,270]
		Протяженность (уклон) выработки	[283,51,52]
		Объем выработок	[243]
	Грузопоток руды и вскрыши	Производительность по руде и вскрыше	[21,224]
		Транспортная работа	[84,353,148, 233]
		Параметры средств транспорта	[140,312]
	Транспортные коммуникации и конструкции	Протяженность трассы	[140,182]
		Форма трассы	[84,182]
Экономические факторы [114,7,351]			
Затраты	Капитальные затраты	[272,312,183,321]	
	Эксплуатационные затраты	[272,312,351,358]	
Прибыль	Валовая прибыль (выручка)	[351]	
	Чистая прибыль	[312,183]	
Инвестиции	Управляемость капиталом, стоимость акции	[351]	
	Создание новых возможностей (диверсификация)	[351]	
	Экологические факторы [266,114,7,320]		
5.	Выбросы загрязняющих веществ	Объемы выбросов загрязняющих веществ	[360,237]
	Отходы	Вскрышные породы от вскрывающих выработок и эксплуатации транспорта	[274,238]
		Использование переработанных материалов	[346]
	Загрязнение водных объектов	Сбросы загрязненной воды в водоемы	[351]
		Нарушение водного режима	[351]
	Воздействие шума	Шумовое загрязнение	[351]
	Воздействие на земли	Изымание земель под объекты	[351]
	Энергоэффективность	Сокращение потребления энергии	[346]
		Использование возобновляемой энергии	[194]
Социальные факторы [7,320]			
6.	Персонал предприятия	Создание рабочих мест	[351]
		Условия работы персонала	[171]
		Обучение и развитие персонала	[333,351]
		Рост производительности труда	[55,345]

В результате анализа научной литературы выявлено:

- отсутствует система показателей оценки ГТС и системы вскрытия, позволяющая комплексно оценивать функционирование и развитие данных систем с позиции концепции эффективного (устойчивого) развития;
- критерии оценки сконцентрированы на экономических, технических и

технологических факторах и слабо учитывают экологические и социальные аспекты функционирования ГТС и системы вскрытия;

- количество групп факторов, выделяемых исследователями, варьируется от 3 до 6, при этом одни и те же факторы и параметры в различных публикациях по-разному сгруппированы;
- для оценки используется различное количество параметров и показателей – от 6 до 69. При этом оценка может выполняться как на основе точных количественных показателей, так и с использованием приближенных качественных оценок;
- большинство параметров и показателей ориентированы на оценку крупных систем, например ГДП или ГТС, и не могут быть использованы для оценки подсистем ГТС, в том числе системы вскрытия;
- в настоящее время не сформирована методологическая база оценки эффективного и устойчивого функционирования и развития системы вскрытия в составе ГТС.

Наличие множества параметров и показателей оценки ГТС и её подсистем делает целесообразным анализ возможности использования многокритериальных методов принятия управленческих решений применительно к комплексной оценке эффективности системы вскрытия.

Учитывая практику эксплуатации и реконструкции системы вскрытия на действующих ГДП и анализа научных трудов, посвященных вопросам эффективности эксплуатации карьерного транспорта и разработке оптимальных вариантов схем вскрытия, данные, представленные в табл. 2.5, были обобщены и в настоящей работе выполнена систематизация параметров системы вскрытия. В основу систематизации положен функциональный подход с выделением пяти групп факторов: технические, технологические, экономические, социальные и экологические. Предлагается двухуровневая оценка факторов с использованием 8 групп параметров и 23 параметров и показателей (табл. 2.7). Первый уровень иерархии учитывает параметры оценки системы вскрытия при взаимодействии с ГТС и

внешней средой. Ко второму уровню иерархии отнесены специфические параметры системы вскрытия.

Параметры системы вскрытия будут влиять на параметры этапов и переходных периодов, возникающих на горнодобывающих предприятиях.

Таблица 2.7 - Система параметров оценки системы вскрытия

Группа факторов	Группа параметров	Параметры	
Технологические	Вид транспорта	N	Один вид
			Комбинированный транспорт
	Производительность транспортного комплекса	QT	Количество транспортных средств
			Производительность транспортного средства
			Количество перегрузочных пунктов в карьере
			Производительность перегрузочного пункта
	Приведенная транспортная работа	AT	Расстояние транспортирования
			Высота подъема горной массы
			Объем перевозок
	Объем вскрывающих выработок	V	Глубина вскрываемой части карьера
			Ширина (сечение) выработки
			Протяженность (уклон) выработки
Экономические	Период использования системы вскрытия	T	Продолжительность формирования системы вскрытия
			Продолжительность этапа разработки
			Число этапов разработки
	Экономическая эффективность	E	Капитальные затраты
			Эксплуатационные затраты
			Совокупный доход
Социальные	Социальная эффективность	S	Рост производительности труда
			Условия работы персонала
			Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования
Экологические	Экологическая эффективность	EK	Объемы выбросов загрязняющих веществ
			Объем образующихся отходов

Чтобы оценить последствия данного влияния, необходимо различать факторы, влияющие на возникновение переходных периодов, а также систематизировать возможные виды переходных периодов при добыче полезных ископаемых.

2.4 Факторы, влияющие на продолжительность этапа функционирования системы вскрытия

Горнодобывающие предприятия, осуществляющие разработку месторождений в течение длительного времени, составляющего несколько десятилетий, в ходе своей деятельности переживают различного рода воздействия внешние и внутренние, оказывающие влияние на устойчивость их функционирования.

Глубокие крутопадающие месторождения разрабатываются, как правило, несколько десятилетий. Такой продолжительный период разработки разделяется на отдельные этапы. На каждый этап разработки устанавливаются параметры и проектируется система вскрытия. Достаточно много работ было посвящено обоснованию экономической целесообразности этапной разработки месторождений [22, 99, 106, 113, 128, 132, 223, 224, 227 и др.], в том числе с участием автора диссертации [39, 60, 61, 62]. Данными исследованиями рекомендуется устанавливать продолжительность этапа разработки в зависимости от срока амортизации горнотранспортного оборудования, наиболее целесообразного срока формирования временно-нерабочего борта для консервации объемов вскрышных пород и т.п. Помимо сроков, рекомендованных результатами исследований, на обоснование продолжительности этапа разработки оказывают влияние и требования нормативных и методических документов. Анализ научных работ и нормативно-методической базы позволил установить перечень факторов, влияющих на продолжительность этапа при разработке месторождений и продолжительность этапа с учетом влияющих факторов (табл. 2.8). Данные факторы учитываются при проектировании разработки и реконструкции карьеров.

Результаты табл. 2.8 показывают, что нет установленной единой величины продолжительности этапа. Разброс продолжительности этапа отработки с учетом различных факторов составляет более 4 раз. Верхний предел продолжительности этапа установлен в 20 лет, так как большую продолжительность этапа проектирования разработки месторождений не согласовывает ЦКР-ТПИ Роснедр, ссылаясь на требования [165]. Этот период следует рассматривать как ограничитель по продолжительности этапа проектирования. На данный период в проект закладывается определенная схема вскрытия и, как правило, определенный вид и тип горнотранспортного оборудования. Однако данную продолжительность этапа нельзя

рассматривать как оптимальную с точки зрения влияния других факторов.

Таблица 2.8 - Факторы, определяющие продолжительность этапа разработки месторождения

Наименование фактора	Рекомендуемая продолжительность этапа разработки, лет
Запасы месторождения (для относительно небольших месторождений, проектируемых к разработке одним этапом) [210]	до 15
Период консервации запасов во временно-нерабочем борту карьера [224, 227]	6-10
Нормативный срок амортизации карьерного горнотранспортного оборудования * [177]	3-23
Расчетная ставка дисконтирования (при значениях Е от 20 до 10%) [27, 28]	8-25
Обеспеченность запасами и эффективность инвестирования в проект [160]	17-23
Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (обязательные требования при согласовании проектной документации на разработку месторождений в ЦКР-ТПИ Роснедра) [155]	до 20

* срок амортизации зависит от типа оборудования и, во многом, от условий эксплуатации. Срок амортизации может устанавливаться изготовителем горнотранспортного оборудования. Наименьшие значения, как правило, устанавливаются для карьерных автосамосвалов, наибольшие – для карьерных мелкоплат и электровозов

В течение проектного этапа карьер достигает определенных параметров. На новом этапе разработки задают новые параметры карьеров, пересматривают производительность по полезному ископаемому, изменяют текущий и средний коэффициенты вскрыши в пределах этапа. Также в течение этапа разработки производят эксплуатационную разведку с целью уточнения объема, качества полезного ископаемого, а также конфигурации рудных тел, залегающих за проектными границами текущего этапа разработки. Для реализации новых проектных решений производится техническое перевооружение по некоторым технологическим процессам – выемочно-погрузочное оборудование, автосамосвалы и т.п. В первую очередь пересматривается транспортное оборудование, т.к. затраты на транспорт оказывают наибольшее влияние на технико-экономические показатели нового этапа разработки. Карьерные автосамосвалы, в зависимости от условий эксплуатации, в настоящее время

имеют срок амортизации в среднем от 3 до 5 лет. Также при обосновании продолжительности этапа необходимо учитывать динамику горных работ на карьере. При разработке крутопадающего месторождения, обеспечивая среднюю скорость углубки карьера в 10 м/год за проектируемый период сформируется карьер глубиной 200 м. При этом современные техника и технологии позволяют на различных этапах поддерживать ежегодные значения понижения горных работ на уровне 20-30 м/год, а в краткосрочные периоды на протяжении нескольких лет по 60-70 м/год [235]. Проектная глубина современных высокопроизводительных карьеров за этап разработки может достигать 400-600 м. Также в течение этапа значительно возрастет расстояние транспортирования, а соответственно и затраты на добычу полезного ископаемого. Данные проектных решений на этапе отработки по некоторым карьерам представлены на рис.2.18.

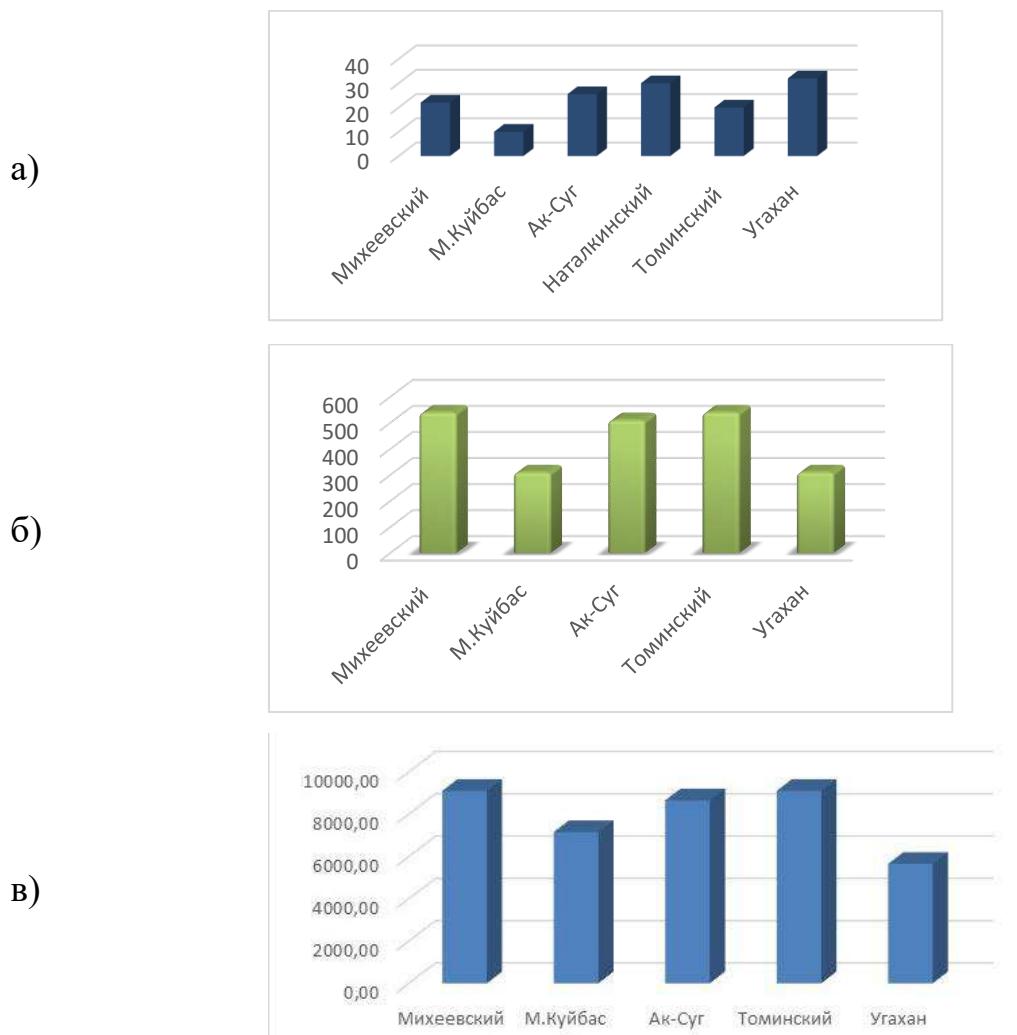


Рисунок 2.18 – Параметры и показатели этапов разработки месторождений

Практические примеры разработки месторождений на такую глубину по единственному проекту, без реконструкций отсутствуют. Поэтому, исходя из

достигаемых значений динамики развития горных работ продолжительность этапа в 20 лет является нерациональной, т.к. при неизменных технических решениях эффективность разработки месторождения на данных глубинах будет достаточно низкой. Этапы функционирования системы вскрытия могут не совпадать с этапами разработки месторождения.

В [233] при вскрытии глубоких горизонтов продолжительность этапа вскрытия устанавливается как временной промежуток между переносом перегрузочных пунктов. В соответствии с вышесказанным, продолжительность проектирования этапа вскрытия должна определяться не только временным фактором, равным продолжительности этапа разработки, но и горнотехническими факторами, ориентируясь на технологические и экономические показатели функционирования системы вскрытия. Так как основное ухудшение технико-экономических показателей функционирования горнотехнической системы связано с ростом глубины карьеров, в работе предлагается продолжительность этапа определять из условия первичного достижения установленного временного ограничения в 20 лет либо глубины карьера, при которой значения параметров и показателей системы вскрытия для предприятия становятся критическими. Основными этапами вскрытия глубоких горизонтов карьера являются изменения параметров системы вскрытия направленные на:

- развитие циклической технологии транспортирование при вскрытии горизонтов наклонными траншеями;
- переход на циклическо-поточную технологию транспортирования при вскрытии горизонтов крутыми траншеями и конструкциями подъемников;
- развитие циклическо-поточной технологии транспортирования с увеличением протяженности крутых траншей или строительством конструкций подъемников;
- развитие циклическо-поточной технологии транспортирования при переходе на открыто-подземный способ разработки при вскрытии горизонтов наклонными подземными съездами, крутыми траншеями и конструкциями подъемников.

Соответственно, ограничение продолжительности этапа вскрытия будет

выражено условием:

$$T_{\text{Э}min}(T_{\text{Э}1}, T_{\text{Э}2}); \begin{cases} T_{\text{Э}1}, T_{\text{Э}min} \leq T_{\text{Э}} \leq T_{\text{Э}max} \\ T_{\text{Э}2}, H_{\text{Э}min} \leq H_{\text{Э}} \leq H_{\text{Э}max} \end{cases}$$

Где $T_{\text{Э}}$ – продолжительность этапа вскрытия, определяемая из условия минимального значения ($T_{\text{Э}1}$ или $T_{\text{Э}2}$), лет; $T_{\text{Э}min}$ – соответствует продолжительности функционирования ГТС достаточной для окупаемости капитальных затрат; $T_{\text{Э}max}$ – максимально возможная продолжительность этапа, равная 20 лет; $H_{\text{Э}}$ – глубина этапа, которая должна определяться с учетом эффективности применяемых видов карьерного транспорта и не превышать предельных значений по целесообразным для принятого транспортного обеспечения расстояниям перевозок; $H_{\text{Э}min}$ – соответствует глубине карьера, достигаемой за промежуток времени $T_{\text{Э}min}$; $H_{\text{Э}max}$ – соответствует глубине карьера, достигаемой за промежуток времени $T_{\text{Э}max}$.

При приближении к периоду окончания этапа функционирования ранее принятой системы вскрытия ее параметры пересматриваются, либо принимается решение о переходе на следующий этап разработки с соответствующей реконструкцией системы вскрытия. Определение целесообразности перехода горнотехнической системы на новый этап или способ разработки месторождения – это многофакторная задача. Переход на новый этап осуществляется в течение переходного периода, продолжительность которого отличается для различных технико-технологических решений. В своей диссертации С.В. Корнилков [130], выделяет переход с одного этапа разработки на другой не только по времени, но и по глубине. При этом выделяется переходная зона, которая характеризуется определенной разницей отметок глубины карьера.

Период, в течение которого будут производиться горные работы в переходной зоне, т.е. будет осуществляться переход на следующий этап разработки также можно назвать переходным периодом. Переход будет происходить в течение определенного периода, та часть месторождения по глубине, которая в данный период будет отрабатываться, называется переходная зона.

Переходный период – это, в первую очередь, промежуток времени, в течение которого осуществляется переход какой-либо системы из одного состояния (с

одними свойствами или характеристиками) в другое. Переходные периоды характерны для систем различных уровней, от человека до экономики страны. Значительное количество исследований о переходных периодах посвящено периоду перехода экономики страны из одного состояния в другое. При этом под переходным периодом понимается период времени, в течение которого экономика страны переходит в новое, качественно иное состояние в связи с кардинальными реформами экономической системы.

В течение переходного периода на различных уровнях происходят определенные процессы, которые ввиду их специфики, называют переходными процессами.

Применительно к горнодобывающей отрасли чл. корр. РАН В.Л. Яковлев даёт следующее определение: переходные процессы – технические, технологические и организационные действия при реализации принимаемых инновационных решений по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования [253]. Также в исследованиях В.Л. Яковleva [254] представлена следующая трактовка данного определения: процессы, связанные с выполнением совокупности технологических, технических и организационных действий при изменении границ извлекаемых запасов, способа их добычи и переработки, параметров технологий, с заменой технических средств, реконструкцией предприятия, модернизацией оборудования и т.п., принято называть переходными.

В [255] даются определения переходного периода применительно к геотехнологии и переходной зоны при комбинированной отработке месторождения. Под переходным периодом понимается время перехода предприятия с одного порядка и способа отработки месторождения на другой (время осуществления переходного процесса). Порядок отработки месторождения – это стабильная во времени последовательность освоения минерального объекта по определенной технологии и с использованием определенного комплекса горнотранспортного оборудования. Под переходной зоной понимается часть месторождения в приграничном пространстве между карьером и подземным рудником, отрабатываемая по

специальной технологии, отличной от применяемой в стабильный период работы горного предприятия. Также в [255] отмечается, что переходные процессы являются неотъемлемой частью стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. При этом самый сложный период в деятельности горнодобывающего предприятия – это переход от открытой геотехнологии к подземной. О сложности переходного периода при переходе от открытого способа разработки к подземному говорят в своих исследованиях также член. кор. РАН Каплунов Д.Р., проф. Рыльникова М.В., проф. Калмыков В.Н. [120] и многие другие.

Таким образом, переходный период — это промежуток времени, в течение которого проходят переходные процессы.

Этапность развития горной промышленности в целом на примере Уральского региона описана в [53]. Отмечается, что этапы различаются темпом, технико-экономическим уровнем, технологией и организацией работ, значимыми ключевыми процессами (строительство рудников, открытие месторождений полезных ископаемых, создание новых горных технологий и т.п.) и развитием горной науки и производства. Наличие данных этапов также предусматривает переход от одного по продолжительности периода разработки, с соответствующими предельными контурами карьера, к другому.

Применительно к вопросам вскрытия месторождений в своей статье [232] М.С. Четверик вводит понятие момент перехода. Момент перехода – это период разработки, когда рабочая зона при существующей схеме вскрытия подойдет к определенному наперед заданному положению ее в карьере, после чего горные работы должны вестись с использованием новой схемы вскрытия. Если после этого момента не осуществляется переход к новой схеме вскрытия, то не обеспечиваются заданные условия работы конвейерного и автомобильного транспорта по расстоянию транспортирования и экономичности. При сравнении двух схем вскрытия одинаковые моменты перехода достигаются при разном времени начала работ по их созданию, но при окончании в одно время, при этом рабочая зона на момент перехода находится на одном и том же заданном положении. Разные моменты перехода характеризуются одновременным началом работ по созданию

схем вскрытия при различных сроках завершения.

Однако если рассмотреть данное понятие с точки зрения общепринятых определений, то мы увидим, что в карьере такой момент выделить достаточно сложно. Согласно [134], момент (нем. moment, фр. moment, лат. momētum время, период; краткое время, миг) - миг, мгновение, короткое время, в которое что-нибудь происходит.

Момент времени означает какую-либо точку на временной оси. Говоря о событиях, соответствующих одному моменту времени, подразумевают об их одновременности или о коротком промежутке времени, в течение которого должен осуществиться переход к новой схеме вскрытия. В тоже время, любые изменения в схеме вскрытия карьера будут носить продолжительный характер и целесообразнее рассматривать данные вопросы в комплексе в течение определенного периода перехода – переходного периода.

Ввиду того, что переходный период — это продолжительный промежуток времени, он должен отмечаться началом и окончанием. Началом переходного периода предлагается считать момент принятия решения об изменении системы вскрытия и переходе на следующий этап разработки или вскрытия, отраженное в техническом задании на проектирование (новый технический проект, корректировка или дополнение к действующей на предприятии проектной документации).

Окончание переходного периода – момент времени, в который система вскрытия начала функционировать с требуемыми показателями, установленными проектом, т.е. устойчиво функционировать.

Продолжительность переходного периода может составлять от нескольких лет, например, при техническом перевооружении с сохранением имеющегося вида транспорта, 6-8 лет и более при изменении порядка формирования рабочей зоны и до 10 лет и более при переходе на открыто-подземный и подземный способы разработки. При одинаковых решениях и целях переходного периода его продолжительность и конечный результат могут быть различными.

Таким образом, в данной работе под **переходным периодом** при изменении вскрытия понимается промежуток времени с момента принятия решения об

изменении системы вскрытия до момента начала устойчивого функционирования системы с проектными показателями.

Причиной возникновения переходных периодов являются факторы внешней и внутренней среды функционирования горнодобывающего предприятия.

К основным внешним факторам относятся: цена на добываемое сырье; спрос на продукцию предприятия; показатели работы конкурирующих предприятий, во многом определяющие предельно-допустимую себестоимость готовой продукции; состояние технического прогресса, показывающее возможность применения на предприятии более современного, экономичного, экологичного оборудования, соответствующего условиям разработки месторождения.

К основным внутренним факторам можно отнести: наличие запасов полезного ископаемого за контуром карьера текущего этапа, подтвержденные и уточненные результатами эксплуатационной разведки, которые предполагаются к отработке; текущая глубина и размеры карьера по поверхности, приводящие к критическим значениям затрат на добычу полезного ископаемого.

Независимо от причин возникновения переходных периодов, предприятие должно своевременно адаптироваться под изменяющиеся условия.

От своевременности принятия решения, соответствия данного решения действующим внешним и внутренним факторам, продолжительности переходного периода во многом будет определять эффективность и устойчивость функционирования предприятия в последующие периоды.

Самым нежелательным вариантом является прекращение разработки месторождения при имеющихся неотработанных запасах полезного ископаемого, т.е. консервация рудника или списание запасов и ликвидация предприятия. Однако, данный вариант является положительным с точки зрения снижения негативного воздействия на окружающую среду, так как при его реализации прекращаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и рост накопления отходов производства. Еще больший положительный эффект будет достигнут, если в данном варианте сформированное выработанное пространство карьера будет использовано для размещения промышленных отходов. В работе [180], совместное

использование природных и техногенных ресурсов определяется как устойчивое развитие горнотехнической системы.

В переходный период система вскрытия будет изменяться. При этом изменения системы вскрытия могут иметь различную глубину преобразований: могут изменяться параметры системы, структура, а также, в результате глубоких преобразований может создаваться новая система, отличающаяся количеством элементов, целью и функцией. Классификация изменений системы вскрытия в переходные периоды по признаку вносимых изменений представлена в табл. 2.9.

Таблица 2.9 - Классификация систем вскрытия по признаку ее изменения в переходные периоды

№ п	Изменения си- стемы вскрытия	№ пп	Сущность производимых изменений системы	Пример производимых измене- ний
1	Изменение па- раметров систе- мы вскрытия	1.1	Изменяются па- раметры од- ного элемен- та систе- мы	Изменение величины уклона транспортных берм
		1.2	Изменяются па- раметры не- скольких элемен- тов систе- мы	Изменяется модель транспорта и ширина транспортной бермы
2	Изменение струк- туры систе- мы вскрытия	2.1	Изменяется количе- ство элемен- тов в структуре	Добавляется новый вид транс- порта
		2.2	Изменяются связи между элемен- тами	Грузопотоки направляются через перегрузочный пункт
3	Создание новой системы вскры- тия	3.1	Изменяется цель систе- мы	Вскрывающие выработки карьера и транспорт используются для подземного рудника
		3.2	Изменяется функция си- стемы	Вскрывающие выработки служат для доставки материалов в выра- ботанное пространство

Изменение параметров системы вскрытия предполагает наименее глубокое ее преобразование из всех рассматриваемых. При этом возможно изменение параметров одного элемента (п.1.1) или сразу нескольких (п. 1.2). Примеры возможных изменений представлены в табл. 2.9. Изменение величины уклонов производится, как правило, для уменьшения объемов горно-капитальных работ, вовлечения дополнительных объемов полезного ископаемого на нижних горизонтах карьеров. Изменение модели транспорта производится при увеличении глубины карьеров, роста транспортной работы. Как правило, с увеличением глубины грузоподъемность применяемых самосвалов увеличивается, однако есть предложения по снижению грузоподъемности в определенных условиях [139, 141]. Ширина

транспортных берм может изменяться при изменении модели автосамосвала, а может и при использовании существующих видов транспорта. Например, ширина транспортной бермы может изменяться при переходе от однополосного движения к двухполосному или, наоборот.

Изменение структуры системы вскрытия предполагает изменение количества элементов (п.2.1) или связей между ними (п.2.2). На момент рассмотрения системы вскрытия она состоит из определенного количества элементов, добавление или убавление элементов изменяет ее структуру. Также элементы системы вскрытия имеют определенные связи между ними. Изменение вида связей, убавление или добавление определенных связей означает изменение структуры системы. В определенных условиях система вскрытия может изменить свою цель (п. 3.1), либо изменить функцию системы (п.3.2). Такие изменения происходят, когда пересматривается способ разработки, либо в дальнейшем пространство карьера не рассматривается для целей добычи полезного ископаемого. Примером изменения функции системы вскрытия в работе [180], является формирование вскрывающей выработки – крутой траншеи для транспортирования отходов в выработанное пространство карьера. С позиций устойчивого развития в данном случае решается крупная задача улучшения экологической обстановки в регионе размещения промышленных производств.

Изменение системы вскрытия сопровождается выбором определенной стратегии развития горнотехнической системы на планируемый промежуток времени.

2.5 Исследование возможных стратегий развития горнотехнической системы и системы вскрытия

Жизненный цикл горнотехнической системы при разработке крутопадающих месторождений может достигать 100 и более лет, в течение которых необходимо многократно произвести выбор стратегии дальнейшего ее развития. На различных этапах разработки возможные альтернативы рассматриваемых стратегий будут отличаться (рис. 2.19), что зависит, прежде всего, от достижения к моменту окончания реализации текущей стратегии определенной глубины разработки. Только при полном прохождении всего жизненного цикла достигается полнота освоения запасов месторождения.

Возникающие внешние и внутренние воздействия, приводят к возникновению определенных реакций горнотехнической системы и ее подсистем. Данные реакции являются причинами изменения существующей стратегии развития горнотехнической системы, при принятии решения о переходе на новую стратегию начинается переходный период. Целью переходного периода является переход на стратегию, обеспечивающую эффективное и устойчивое развитие горнотехнической системы.

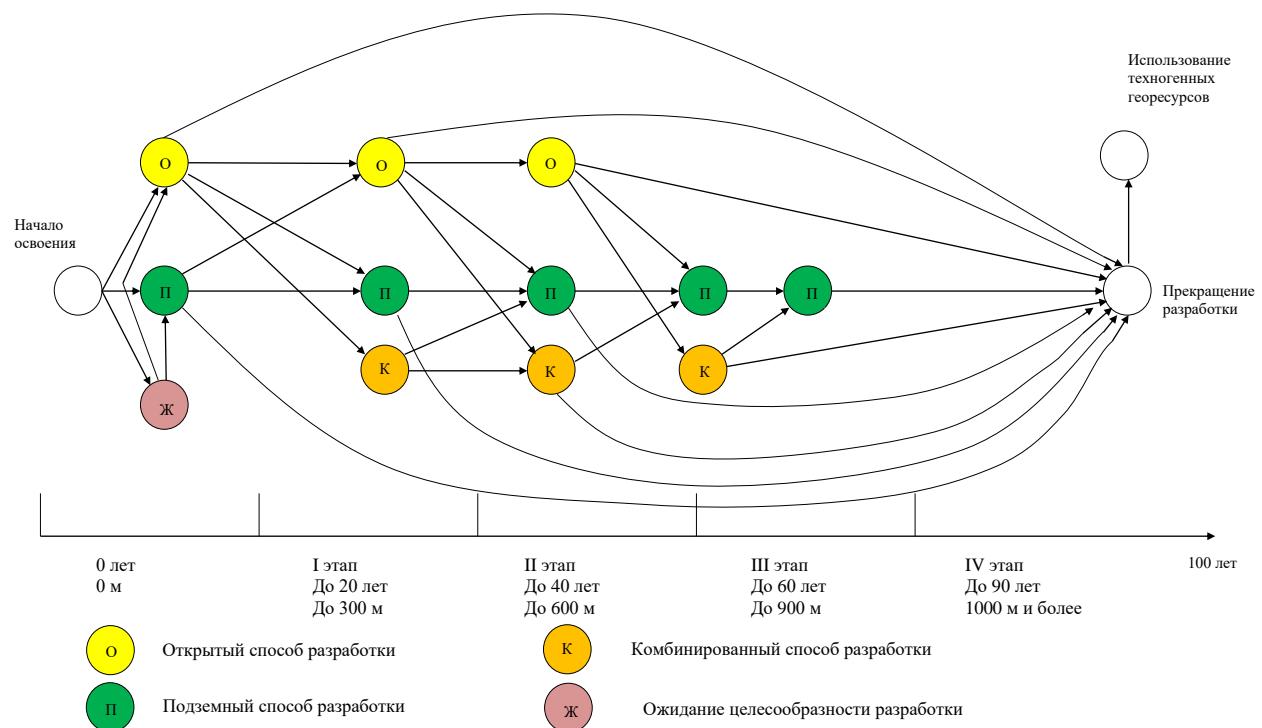


Рисунок 2.19 - Жизненный цикл ГТС при разработке крутопадающих месторождений

При разработке крутопадающего месторождения можно выделить следующие отдельные этапы и варианты стратегий:

1. последовательно реализуемые этапы разработки открытым способом – практически все крутопадающие месторождения на стадии открытых горных работ отрабатываются поэтапно. Каждый этап разработки характеризуется параметрами и показателями: глубина этапа, параметры карьера характерные для определенного этапа, продолжительность этапа разработки, производительность по вскрыше и руде, а соответственно параметры грузопотоков, текущий коэффициент вскрыши, средний коэффициент вскрыши. Переход с одного этапа на другой предусматривает изменение контуров карьера. Когда утверждаются контуры карьера на конец очередного этапа отработки стремятся их приблизить по

параметрам к конечным контурам карьера, чтобы в случае нецелесообразности перехода к следующему этапу минимизировать затраты на вскрышные работы. В этом заключается одно из основных преимуществ разработки месторождений этапами. При изменении контуров карьера возможно изменение параметров вскрывающих выработок. Было проведено моделирование на условной модели карьера с целью определения влияния параметров вскрывающих выработок на объемы горной массы, вынимаемые из карьера. Моделирование производилось с использованием программных комплексов AutoCAD и Micromine. Были приняты следующие параметры условной модели: глубина до 500 м, размеры дна карьера 100 на 100 м, уступы в нерабочем положении совмещаются до высоты 30 м, угол откоса нерабочих уступов до 70 град (рис. 2.20). Размеры карьера поверху, углы нерабочих бортов карьера, а также объемы вскрыши в контурах карьера изменялись в соответствии с изменениями параметров вскрывающих выработок – ширины транспортных берм. Принятые параметры модели схожи с параметрами карьеров, разрабатывающих крутопадающие месторождения например, Сибайского, Кием-баевского, месторождений алмазов в Якутии и Архангельской области, отдельных участков рудных месторождений например, Михеевское, Томинское, Малый Куйбас и др. Также схожие параметры модели используются при моделировании параметров горнотехнических систем как отечественные, так и зарубежные исследователи [31, 60, 318]. Результаты моделирования представлены на рис. 2.21. Результаты моделирования показали, что при росте глубины в 3 раза в зависимости от приращения ширины вскрывающих выработок, увеличение объемов вскрыши в контурах карьера может превышать 4 раза. Это говорит о том, что возможности применения подгрупп из вышеприведенной классификации, связанных с изменением параметров скрывающих выработок ограничены.

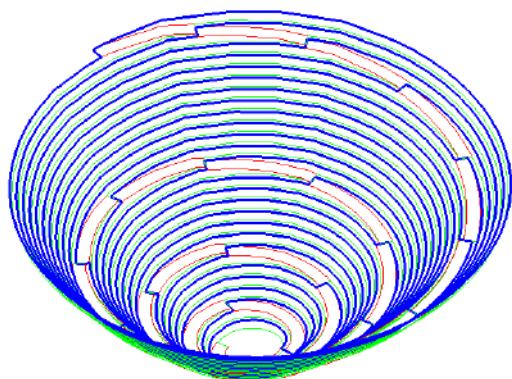


Рисунок 2.20 – Модель карьера, используемая при моделировании изменений системы вскрытия

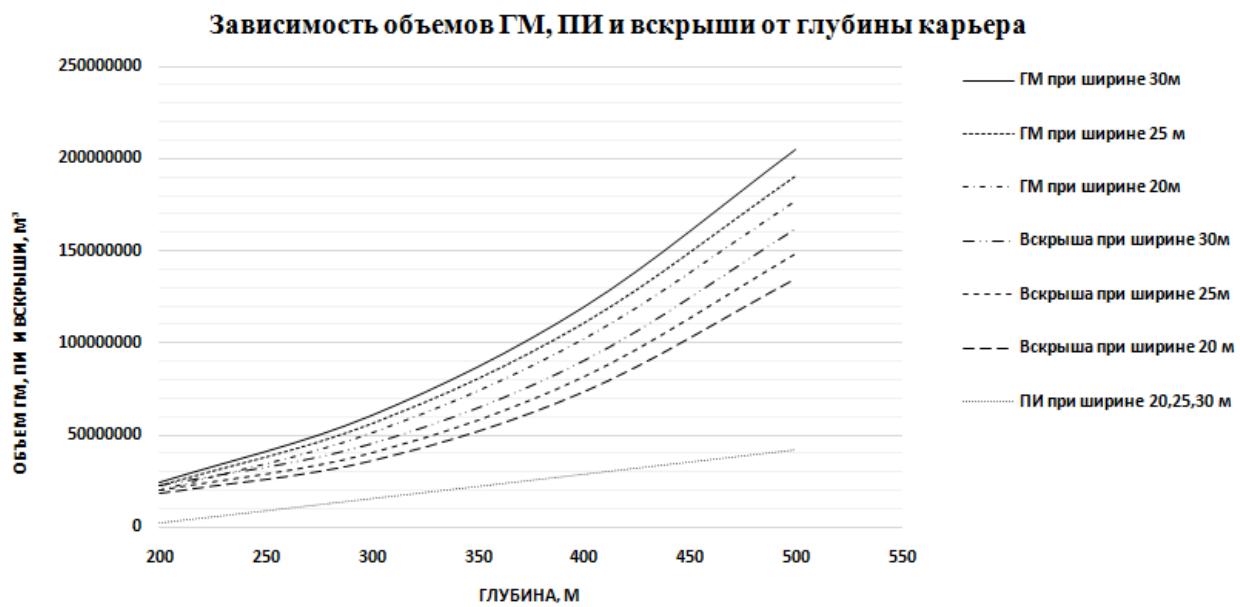


Рисунок 2.21 – Зависимость объемов вскрыши, полезного ископаемого (пи) и горной массы (гм) от глубины карьера при изменении ширины транспортных берм при моделировании

2. переход на этап открыто-подземного способа разработки – переход на новый способ разработки при освоении крутопадающего месторождения, также является очередным этапом. Этот этап также будет характеризоваться определенной продолжительностью. Причем даже при переходе на подземный способ разработки освоение запасов по глубине можно разделить на отдельные этапы, для которых будет проектироваться и применяться своя система вскрытия. Для разработки запасов глубоких горизонтов, в случаях, если будут пройдены вскрывающие выработки с поверхности и инфраструктура открытого рудника используется не будет, можно говорить о независимом существовании шахты и связь системы вскрытия ее с ранее существовавшей будет отсутствовать.

Таким образом, реагируя на внутренние и внешние изменения, переходные периоды на горнодобывающих предприятиях происходят внутри этапа разработки, при переходе с одного этапа на другой или при переходе с одного способа разработки на другой (рис. 2.22).

Внутри этапа переходный период может быть связан с техническим перевооружением предприятия. Необходимость в этом возникает, когда этап разработки имеет большую продолжительность, в ходе которой оборудование амортизирует. При постоянно увеличивающейся глубине карьера может быть принято решение о замене оборудования на более производительное. При этом конечные границы

карьера в пределах этапа не пересматриваются. На первом этапе разработки в системе вскрытия возможны замены типоразмера оборудования при сохранении применяемого ранее вида, т.е., например, переход на автосамосвалы большей грузоподъемности с соответствующим изменением параметров схемы вскрытия. За исключением случаев, когда новый вид транспорта на первом этапе предусматривался изначально проектом на отработку данного этапа. Для переходных процессов, происходящих в пределах этапа разработки, выполняют проекты технического перевооружения предприятий. Которые не предусматривают прохождения государственных экспертиз, только экспертизу промышленной безопасности и, соответственно, имеют минимальные сроки согласований.

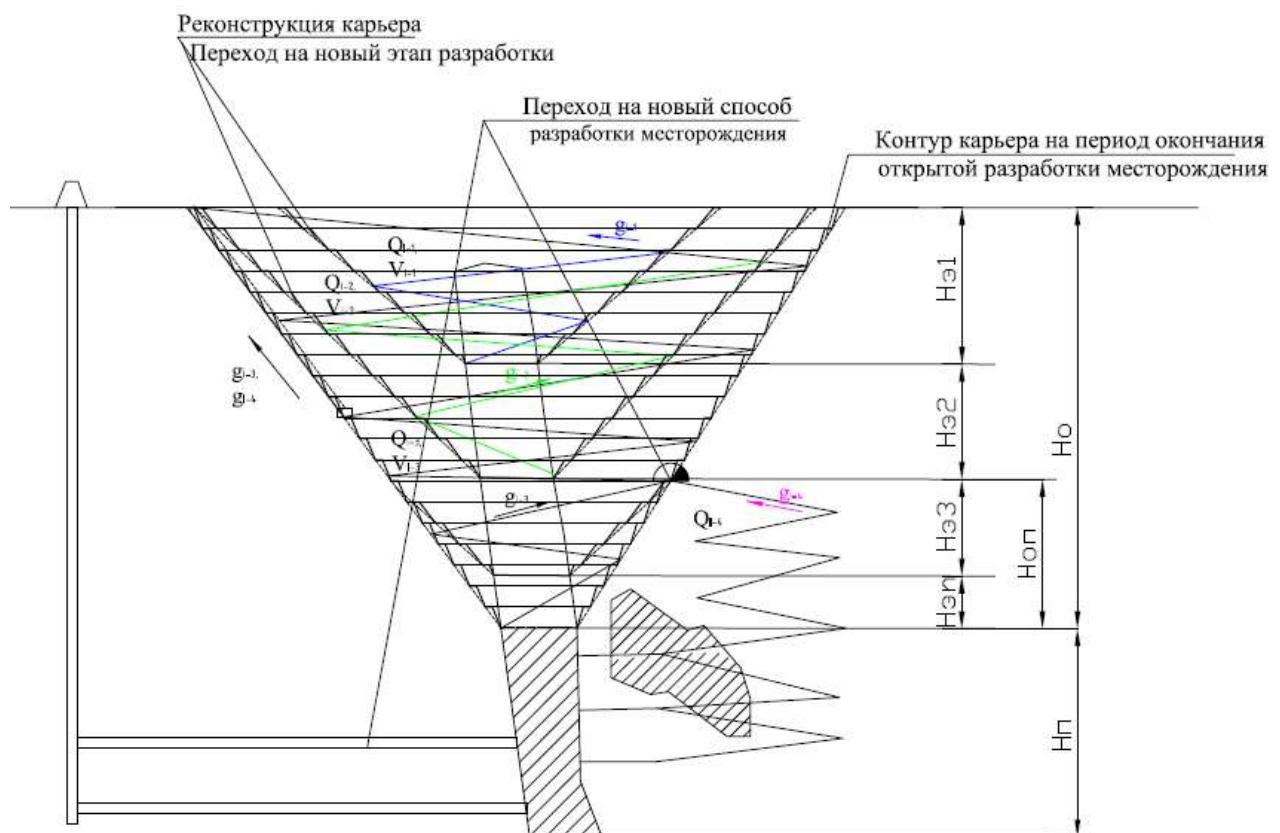
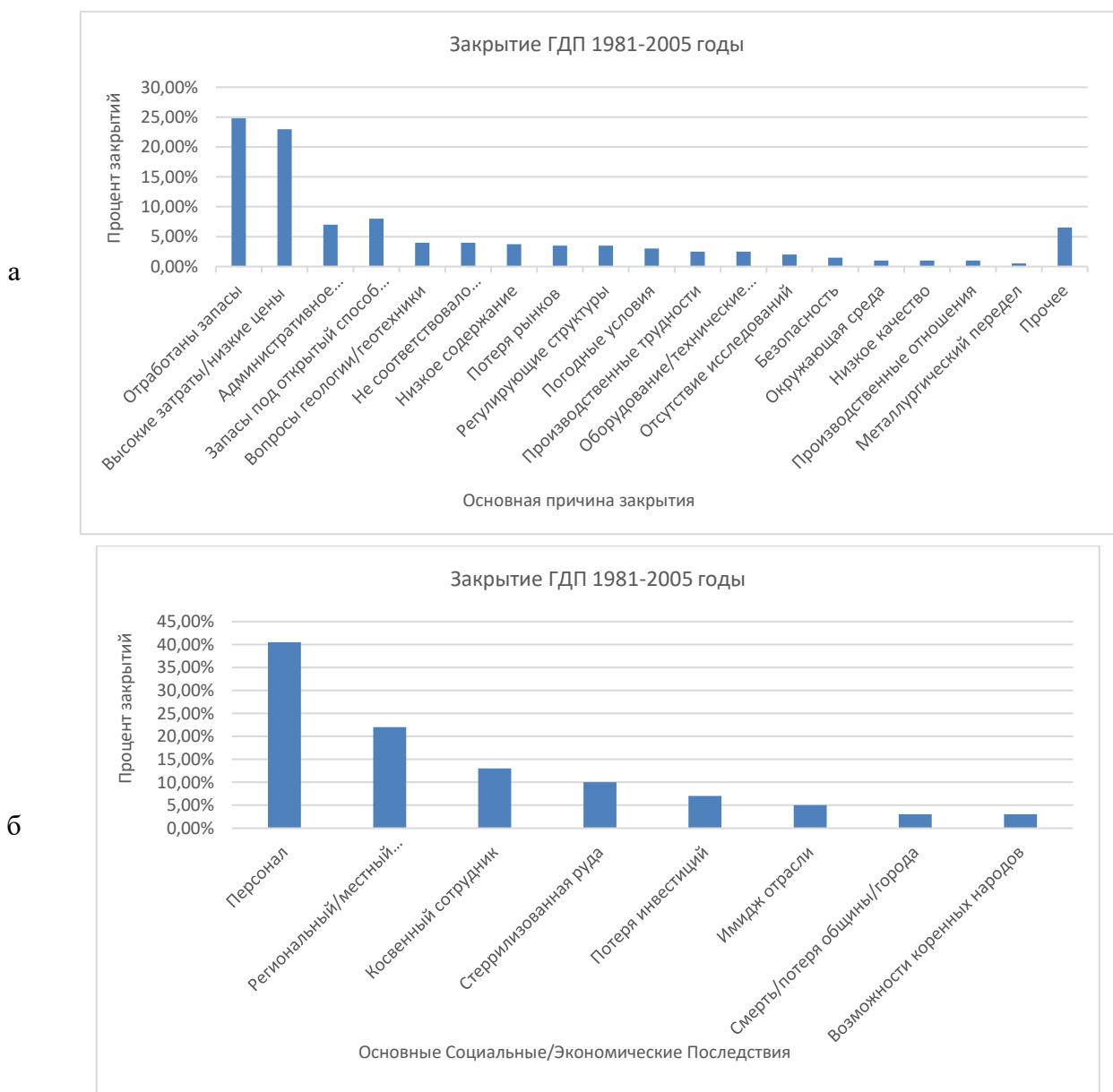


Рисунок 2.22 - Этапы и переходные периоды при разработке крутопадающего месторождения: H_e – глубина этапа разработки месторождения, H_o – глубина карьера на конец отработки месторождения открытым способом, H_p – глубина отработки месторождения подземным способом, Q_i , V_i – производительность по руде и по вскрыше в очередном этапе соответственно, g_i , g_j – грузопотоки по коммуникациям в очередном этапе разработки

Несвоевременно или неверно принятое решение по выбору стратегии развития горнотехнической системы может привести к снижению устойчивости горнодобывающего предприятия вплоть до закрытия. Так, согласно данным

исследований причин закрытия горнодобывающих предприятий D. Laurence [317] установил, что только 25% предприятий прекратили свою деятельность при отработке запасов, остальные 75% вызвано различными технологическими, экологическими и социальными причинами (рис. 2.23). Закрытие предприятия при неотработанных запасах месторождения, не обеспечивает полноту их выемки, а соответственно и эффективность функционирования ГТС.

Специфика функционирования горнодобывающих предприятий связана не только в том, что предприятия находятся в конкурентной среде, но и в том, что они работают с природными ресурсами, на изначальное качество, объем и свойства которых повлиять невозможно. Поэтому выбранная стратегия развития для ГДП – это, в первую очередь возможность устойчивого функционирования и развития на протяжении определенного планируемого промежутка времени.



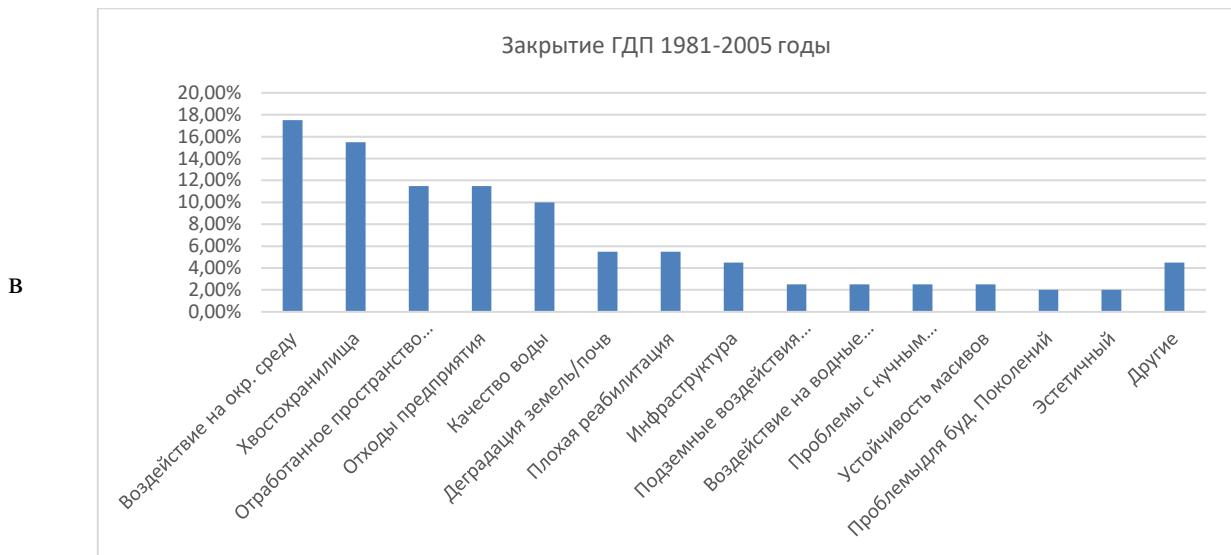


Рисунок 2.23 – Причины закрытия горнодобывающих предприятий [317]

В ходе исследований разрабатывались геотехнологические решения, которые укрупненно систематизированы в следующих стратегиях развития горнотехнической системы в переходный период:

Изменение параметров текущего этапа разработки – предполагает корректировку отдельных элементов системы разработки в утвержденном проектном контуре карьера, в том числе вызванное техническим перевооружением по отдельным технологическим процессам. Может сопровождаться изменением производительности по полезному ископаемому и вскрышным породам.

Переход на новый этап ОГР – предполагает вовлечение в разработку дополнительных запасов полезного ископаемого и соответствующее изменение контуров карьера в глубину и в плане. Также может сопровождаться изменением производительности по полезному ископаемому и вскрышным породам. Также при переходе на новый этап ОГР можно производить техническое перевооружение по всем технологическим процессам. В системе вскрытия возможно реализовать переход на комбинированный способ доставки горной массы.

Переход на комбинированный способ разработки – предполагает строительство подземного рудника, который будет функционировать совместно с карьером. Для данной стратегии возможно увеличить производительность предприятия по полезному ископаемому в целом, т.к. карьер продолжает функционировать с заданной производительностью, а подземный рудник

обеспечивает добычу дополнительных объемов. Преимуществом данной стратегии является возможность использования общей системы вскрытия и доставлять на поверхность горную породу самым эффективным способом, используя коммуникации и технику смежного рудника.

Прекращение функционирования ГДП – может быть реализовано путем консервации и ликвидации предприятия. Консервация предполагает временное прекращение добычи полезного ископаемого на карьере, обычно на срок до 5 лет. Как правило, консервация связана со снижением спроса на продукцию предприятия, существенным ухудшением качества добываемого сырья, ростом затрат на логистику. Ликвидация предполагает полное прекращение добычи на месторождении, оставшиеся запасы списываются с баланса, территория рекультивируется. При консервации и ликвидации негативное воздействие горнодобывающего предприятия на окружающую среду будет минимальным. В ходе реализации данной стратегии сформированное пространство карьера может быть использовано для целей не связанных с добычей руды, например для размещения промышленных отходов, расположенных в непосредственной близости предприятий. При этом помимо экономических достигаются хорошие экологические и социальные показатели функционирования ГТС, что соответствует целям устойчивого развития.

Схема выбора и реализации стратегий развития ГТС представлена на рис. 2.24.

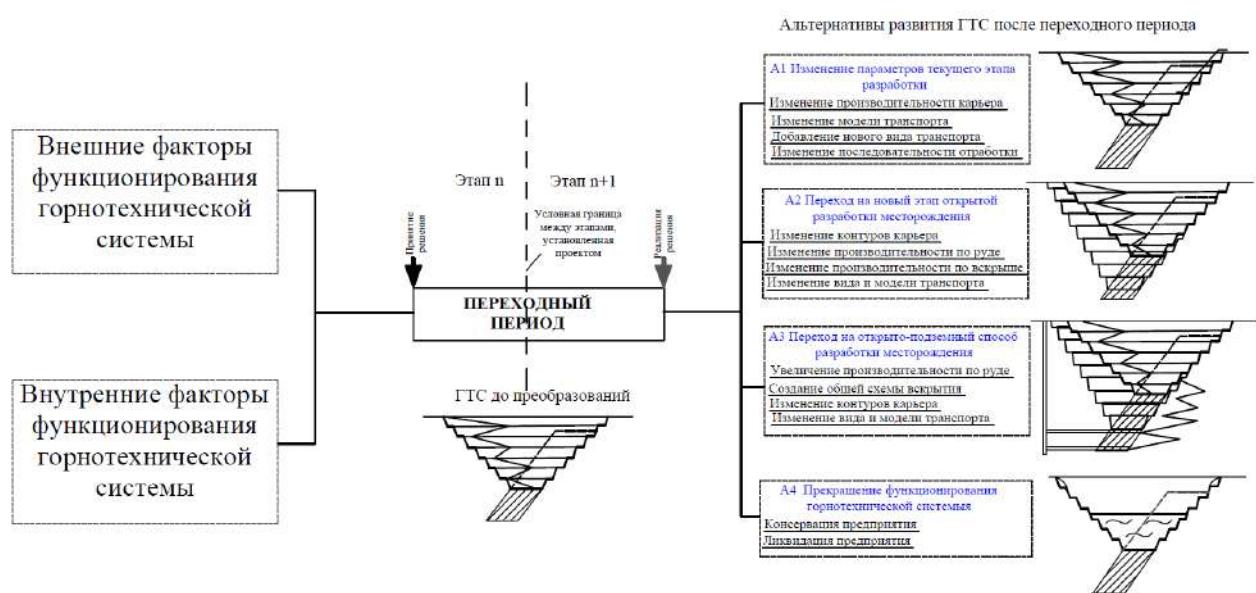


Рисунок 2.24 – Схема выбора стратегии развития ГТС

Для каждого вида переходного периода предполагается определенный ожидаемый результат, установлены причины, являющиеся внутренними факторами для изменения горнотехнической системы, возникновения переходных периодов и определены ограничения реализации технических и технологических решений в переходный период (табл. 2.10).

Таблица 2.10 - Характеристика переходных периодов разработки месторождений

<i>Вид переходного периода</i>	<i>Ожидаемый результат</i>	<i>Причины возникновения переходного периода</i>	<i>Ограничения</i>
Внутри этапа разработки	Снижение затрат на вскрышные работы; Сокращение затрат на транспортирование	Рост глубины карьера; Увеличение транспортной работы	Несоответствие параметров вскрывающих выработок новому оборудованию; Отсутствие возможности проходки новых выработок и строительства новых конструкций
Переход с одного этапа разработки на другой	Продолжение функционирования горнодобывающего предприятия; изменение производительности предприятия по полезному ископаемому	Наличие запасов полезного ископаемого за проектным контуром карьера; имеется оборудование, персонал, инфраструктура для дальнейшего развития открытых горных работ	Недостаточно имеющегося оборудования и персонала Несоответствие имеющейся инфраструктуры по функционалу и расположению
Переход с одного способа разработки на другой	Продолжение функционирования горнодобывающего предприятия; получение дополнительной прибыли (сокращение затрат); поддержание производительности предприятия по полезному ископаемому; наращивание производственной мощности горнодобывающего предприятия	Увеличение текущего коэффициента вскрыши; рост затрат на разработку, в основном транспортных; отработка запасов доступных для открытых горных работ; экологические ограничения; отсутствие свободных площадей для развития открытых горных работ; усложнившиеся гидрогеологические условия	Психологический фактор (абсолютно новое производство) Отсутствие квалифицированного персонала Отсутствие специализированной инфраструктуры Требуются существенные капитальные затраты Продолжительный срок строительства шахты

Поэтому рассмотренные в табл. 2.9 группы и подгруппы изменения систем вскрытия определенным образом сочетаются с рассмотренными видами переходных периодов. Например, внутри этапа разработки не может быть осуществлен переход на другой способ разработки или создана новая система вскрытия взамен старой. Такие преобразования продолжительны по времени и подразумевают пересмотр параметров карьеров. Некоторые изменения системы вскрытия возможны для определенных видов переходных периодов, но их

реализация достаточно сложная, что говорит о их частичной совместимости. Например, создать новую схему вскрытия в пределах этапа разработки при сохранении вида транспорта, особенно если глубина карьера в пределах этапа разработки превысила 150-200 м и горные работы характеризуются достаточно высокой концентрацией оборудования в рабочей зоне. Применимость вариантов изменения системы для различных видов переходных периодов представлена в табл. 2.11. Стратегия прекращения функционирования ГДП в данной таблице не предусматривается, т.к. кардинальные изменения системы вскрытия при этом не предусматриваются.

В таблице 2.11 предусматриваются вариант соответствия – применяться с ограничениями. Ограничения могут быть, например: по продолжительности этапа, когда могут быть произведены изменения в системе вскрытия, этот параметр задаваемый; ограничения, на которые невозможно повлиять, например, горно-геологические условия на этапе эксплуатации месторождения. В качестве примера изменений в системе вскрытия применимых в ограниченных случаях можно привести месторождения Осеннее, Левобережное и Южно-Кировское, принадлежащих ПАО «Гайский ГОК».

Таблица 2.11 – Применимость вариантов изменения системы для различных видов переходных периодов

Номер под-группы по классификации	Вид переходного периода		
	Внутри этапа разработки	При переходе с одного этапа ОГР на другой	При переходе на открыто-подземный способ разработки
1.1	+	+	+
1.2	±	+	±
2.1	±	+	+
2.2	±	+	+
3.1	-	-	+
3.2	-	-	±

«+» - полностью применимо; «-» - варианты не совместимы; «+ -» - варианты могут применяться с ограничениями; либо очень сложны в реализации

На данных месторождениях было выполнено техническое перевооружение на очередных этапах открытой разработки, с целью снижения грузоподъемности применяемых типов самосвалов. Это привело к уменьшению параметров вскрывающих выработок, увеличению угла борта карьера на конец отработки этапа и сокращению текущего и среднего по этапу коэффициентов вскрыши. Сократить ширину действующих съездов в карьере без остановки вскрышных и

добычных работ стало возможным, так как их отработка осуществлялась без производства буровзрывных работ (рис. 2.25, 2.26).

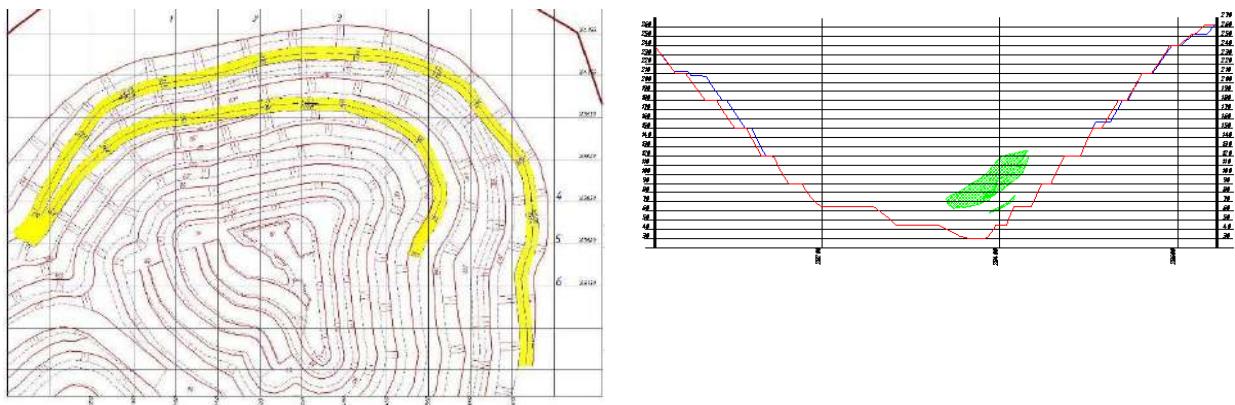


Рисунок 2.25 – Результаты изменения системы вскрытия в переходный период на карьере «Осенний»

Помимо этого, изменение параметров вскрывающих выработок производились на нижних горизонтах, новые горизонты вводились в эксплуатацию уже с новыми параметрами. Данные технологические решения по изменению параметров существующей системы вскрытия позволили вовлечь в разработку дополнительные объемы руды (рис. 2.25) без увеличения среднего и текущего коэффициентов вскрыши. Так как рассматривалось совместное влияние параметров транспортных коммуникаций и бортов карьеров.

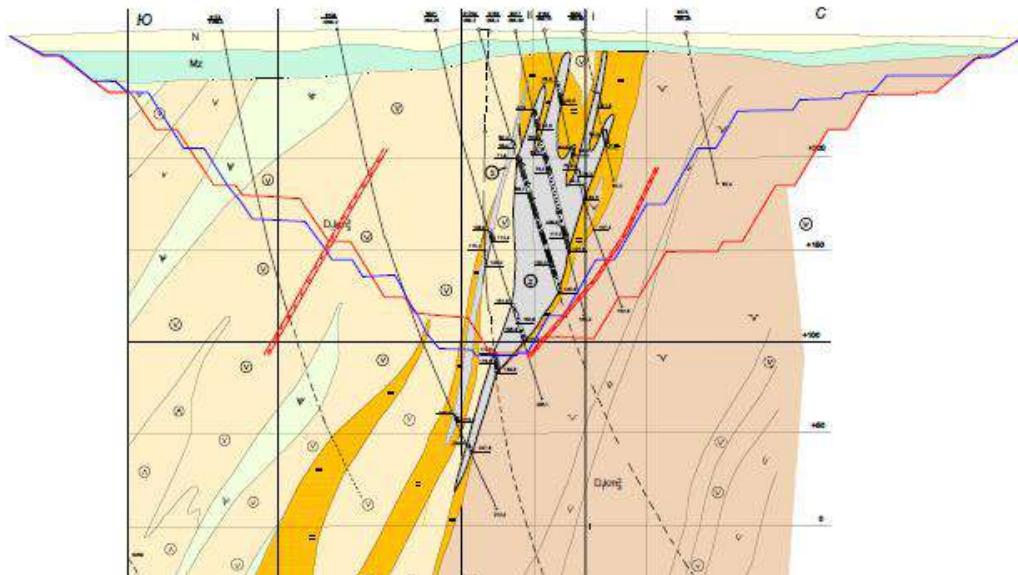


Рисунок 2.26 – Результаты изменения системы вскрытия в переходный период на карьере «Левобережный»

Для условий глубоких карьеров и при буровзрывном способе подготовки применить данную подгруппу преобразований было бы практически невозможно

без остановки работы карьера, так как на действующих съездах пришлось бы располагать буровые установки, на наклонном основании, обуривать и взрывать породные полосы ограниченной ширины. Особенно проблематично выполнять данные работы, когда в карьере простая или спиральная форма трассы, т.е. когда весь грузопоток из карьера осуществляется по одной траншее, когда трасса сложная и из карьера имеются несколько транспортных выездов, возможно изменять параметры съездов на отдельных участках, направляя при этом грузопоток на другие выезды из карьера.

Для условий, когда внутри этапа горизонты не достигли еще своих предельных положений и рабочая зона, вскрывающие выработки находятся в динамике, изменять их параметры будет проще, так как на новом положении вскрывающие выработки могут формироваться с новыми параметрами. Но если карьер развивается достаточно быстрыми темпами, то выделить такой вариант реконструкции в пределах этапа будет крайне сложно. Не зависимо от выбранной подгруппы преобразований в системе вскрытия и вида переходного периода, ключевую роль будут играть продолжительность этапов разработки и продолжительность переходных периодов. При оценке целесообразной продолжительности переходного периода введем ряд ограничений:

- ограничение по продолжительности переходного периода и продолжительности этапа разработки месторождения, на который осуществляется переход

$$T_{пп} \leq T_{эн+1} \quad (2.1)$$

где $T_{пп}$ - продолжительность переходного периода, лет;

$T_{эн+1}$ - продолжительность этапа $n+1$, лет.

Данное ограничение обосновывается тем, что, согласно определению переходного периода, представленному в разделе 2.4, к моменту окончания переходного периода должно обеспечиваться устойчивое функционирование системы, т.е. выполнение проектных показателей. Если эти показатели были обеспечены только к окончанию очередного этапа разработки, можно говорить о том, что данный этап отработан с низкой эффективностью или неэффективно.

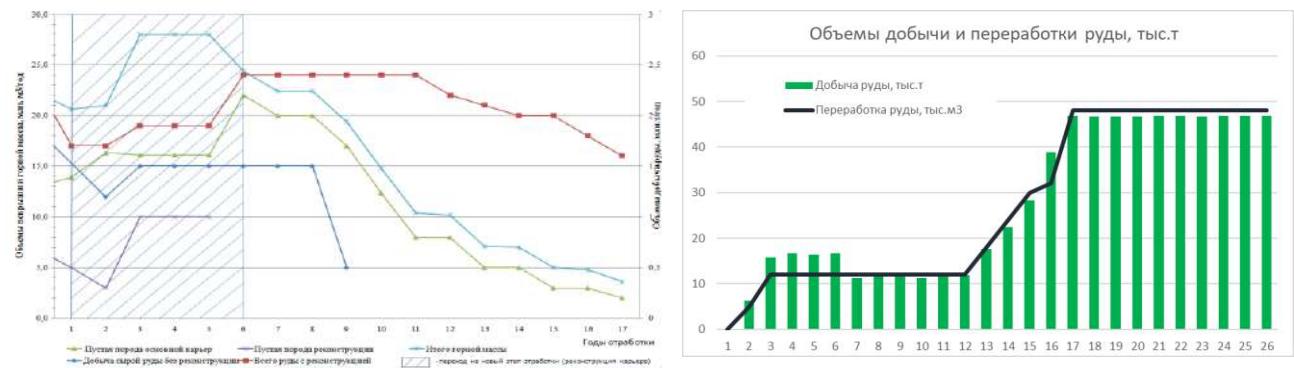
- ограничение по сроку окупаемости инвестиций

$$T_{пп} + T_{эн+1} \leq T_{ок.инв} \quad (2.2)$$

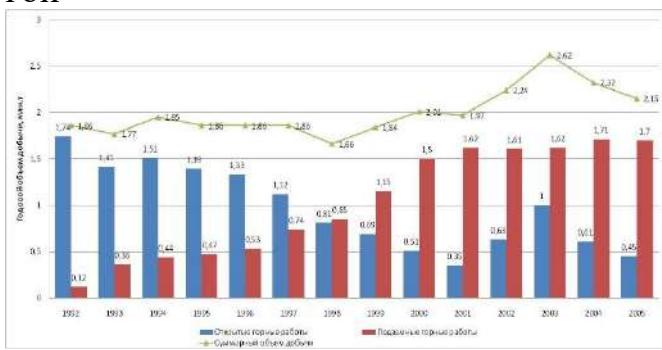
где $T_{ок.инв}$ – период окупаемости инвестиций для разработки.

Если данное ограничение не выполняется, то средства, вложенные в изменение системы вскрытия, не принесут ожидаемого эффекта, что свидетельствует о неверности принятия решения в переходный период. В тоже время кардинальные и капиталоемкие преобразования горнотехнической системы могут быть направлены не только на текущий, но и последующий этапы разработки, в таком случае рассматривая на длительную перспективу данные решения могут принести наилучший результат.

В переходные периоды снижается устойчивость функционирования предприятия ввиду того, что производительность по руде в данный период становится нестабильной. Примеры изменений производительности по руде в переходные периоды на действующих предприятиях представлены на рис.2.27.



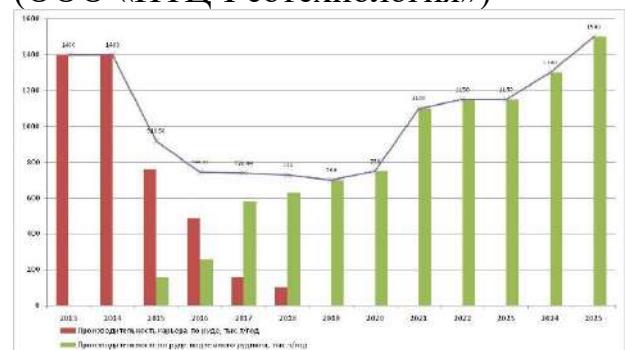
Переход с одного этапа разработки месторождения «Малый Куйбас» на другой



Переход с одного способа разработки месторождения «Учалинское» на другой



Проектирование этапов разработки месторождения «Удоканское» (ООО «НТЦ-Геотехнология»)



Переход с одного способа разработки месторождения «Юбилейное» на другой

Рисунок 2.27 – Переходные периоды на действующих горнодобывающих предприятиях

Таким образом, при переходе с одного этапа разработки месторождения открытым способом на другой и на открыто-подземный способ разработки возможны различные варианты по продолжительности переходного периода, по

капитальным затратам и последующим эксплуатационным. Переход на следующий этап открытых горных работ, открыто-подземный, либо подземный способ разработки может осуществляться с учетом использования имеющейся системы вскрытия, путем ее преобразования, либо создания новой. Различные варианты преобразования системы вскрытия отличаются эффективностью. Для выбора оптимального решения по преобразованию системы вскрытия в переходный период и выбора наиболее целесообразной стратегии развития необходимо производить оценку возможных вариантов.

Выводы

- установлено, что в классическом понимании система вскрытия, объединяющая такие элементы как: вскрывающие выработки и транспортные коммуникации, развивающиеся по мере развития горных работ в карьере и предназначенная для перемещения горной массы средствами карьерного транспорта не учитывает транспорт в своей структуре;

- определено, что за последние десятилетия проектные глубины карьеров возросли более чем в 1,5 раза, а вместимость ковшей экскаваторов и грузоподъемность автосамосвалов, применяемых в карьерах, более чем в 4 раза. При этом для принятой модели экскаватора вариативность формирования системы вскрытия различается в широком диапазоне: до 60 конкурентных моделей самосвалов, 2-4 вида транспорта, 5-6 вариантов сочетаний видов транспорта и до 1,5-1,7 раза различающиеся параметры однотипных вскрывающих выработок. Такая вариативность требует многокритериального подхода к обоснованию параметров системы вскрытия.

- установлено, что от параметров системы вскрытия, объединяющей вскрывающие выработки, транспортные средства и устройства, внутрикарьерные пункты перегрузки горной массы, при производстве горных работ на глубоких горизонтах карьеров, зависит около 50% капитальных затрат и до 70-80% эксплуатационных расходов при добыче полезных ископаемых, значительная часть выбросов вредных веществ и образования отходов производства. Поэтому система вскрытия, являясь подсистемой горнотехнической системы (ГТС), во многом определяет выбор эффективной стратегии ее развития

- обоснованы 8 групп параметров системы вскрытия, включающие: вид транспорта, производительность транспортного комплекса, приведенную транспортную работу, объем вскрывающих выработок, период использования системы вскрытия, экономическую, социальную и экологическую эффективность, для которых определены основные параметры системы;

- определено, что под устойчивым функционированием горнорудного предприятия понимается его способность эффективно производить горные работы на месторождении и обеспечивать заданные параметры и показатели в течение всего периода освоения запасов при воздействии изменяющихся факторов внешней и внутренней среды;

- определено, что в ходе разработки крутопадающих месторождений на горнодобывающих предприятиях, разрабатывающих крутопадающие месторождения можно выделить следующие стратегии развития ГТС: изменение параметров текущего этапа разработки, переход на новый этап открытых горных работ, переход на открыто-подземный способ разработки и прекращение функционирования ГДП с использованием сформированных техногенных госресурсов в целях не связанных с добывчей руды;

- определено, что основными этапами вскрытия глубоких горизонтов карьера являются изменения параметров системы вскрытия в текущем этапе направленные на развитие цикличной технологии транспортирования при вскрытии горизонтов наклонными траншеями; переход на циклично-поточную технологию транспортирования при вскрытии горизонтов крутыми траншеями и конструкциями подъемников; развитие циклично-поточной технологии транспортирования с увеличением протяженности крутых траншей или строительством конструкций подъемников; развитие циклично-поточной технологии транспортирования при переходе на открыто-подземный способ разработки при вскрытии горизонтов наклонными подземными съездами, крутыми траншеями и конструкциями подъемников.

- установлено, что этап вскрытия по продолжительности может совпадать с этапом разработки, а также в течение этапа разработки крутопадающих рудных месторождений возможно несколько этапов вскрытия, при этом продолжительность этапа вскрытия должна определяться с учетом глубины эффективного применения принятого проектом карьерного транспорта.

3. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ

3.1 Систематизация принципов устойчивого функционирования системы вскрытия

Одной из основных целей разработки месторождения полезных ископаемых является получение прибыли владельцами данного бизнеса. Для обеспечения устойчивого функционирования горнотехнической системы необходимо в переходные периоды при принятии решений и их реализации учитывать не только экономические, но и экологические и социальные последствия их реализации. В работе был произведен анализ предлагаемых различными учеными основных принципов, направленных на обеспечение устойчивого функционирования и развития систем и подсистем предприятий.

В ходе анализа автором было рассмотрено более 30 укрупненных групп принципов, которые включают свыше 100 различных принципов. Было проанализировано более 70 литературных источников, в которых рассматриваются принципы функционирования и развития различных систем горнодобывающих предприятий. Данный анализ опубликован в [30].

Выполненный анализ показал, что в настоящее время в современной научной литературе отсутствуют чётко сформулированные принципы устойчивого функционирования и развития для систем в горнодобывающей отрасли, реализация которых позволила бы, в том числе, достигать целей устойчивого развития, установленных в [179, 281, 337]. Выявленные в результате анализа существующие принципы проектирования и развития систем в горнодобывающей отрасли предлагаются поделить на следующие группы:

- общесистемные принципы, которые характерны для систем всех уровней от горно-металлургического холдинга до подсистем ГТС;
- принципы, направленные на развитие ГДП, – принципы развития, принципы управления качеством, принципы устойчивого развития геотехнологий, методические принципы планирования работ, принципы экологического контроля рисков территорий, принципы функционирования и развития структурных подразделений, принципы проектирования, принципы проектирования развития предприятия, принцип повторного использования пространства и техногенного

сырья, принципы системного потока, принципы геометаллургии, принципы экономической, экологической и социально-культурной устойчивости;

- принципы, направленные на развитие ГТС, – группа принципов, направленная на развитие карьера или шахты как самостоятельной единицы – принципы комплексного освоения, принципы полного цикла освоения месторождения, принципы организации ГТС; принципы проектирования ГТС, принципы обеспечения устойчивости объектов, принцип управления;
- принципы, направленные на развитие подсистем ГТС, в частности системы вскрытия, т. е. это группа принципов, ориентированная на развитие отдельных систем, составляющих ГТС, – принципы формирования технологических схем, принципы формирования грузопотоков, принцип формирования схемы вскрытия, принципы эксплуатации транспорта, принцип замещения дизельных видов электрическим.

В ходе анализа существующих принципов выяснилось, что в настоящее время отсутствует универсальная система принципов устойчивого развития ГТС и ее подсистем, а большинство известных принципов направлены на системы более высокого уровня: горнодобывающее предприятие и выше – 49 %, горнотехническая система – 38 % и подсистемы ГТС – 13 % (табл. 3.1).

Таблица 3.1 - Распределение числа принципов развития систем в горной отрасли

Основные принципы обеспечения устойчивого развития ГДП	Принципы проектирования и развития		
	Система вскрытия	Горнотехническая система	Горнодобывающее предприятие
Технические	2	8	2
Технологические	11	23	28
Экономические	1	4	11
Экологические	1	6	10
Социальные	3	7	

В процессе группировки было установлено, что наблюдается дисбаланс принципов в сторону достижения технологических целей, которые также затрагивают вопросы организации горных работ, на уровне ГТС и ГДП в целом. Отсутствие «социальных» и недостаточное количество «экологических» принципов на уровне системы вскрытия не позволяет обеспечить экологическую и социальную устойчивость данной системы, и как следствие, снижает общую устойчивость ГТС и ГДП.

Таким образом, анализ функционирования ГТС в переходные периоды позволяет сделать следующие выводы: отсутствует комплексный подход к

реализации принципов устойчивого развития в горнодобывающей отрасли. Существующие принципы проектирования и развития систем ориентированы в первую очередь на управление горнодобывающим предприятием и слабо учитывают особенности проектирования и функционирования ГТС и ее подсистем. Такой подход не позволяет устойчиво развиваться ГТС и ГДП в целом.

Обеспечению устойчивого функционирования и развития ГДП должна предшествовать реализация соответствующих принципов устойчивого функционирования и развития ГТС, достижению устойчивого функционирования и развития ГТС предшествует реализация принципов устойчивого развития подсистем ГТС (системы вскрытия и других подсистем) (рис. 3.2). При этом достижение целей устойчивого развития ГДП осуществляется приведением в соответствие целей всех подсистем нижестоящих уровней управления целями и задачами вышестоящих уровней.

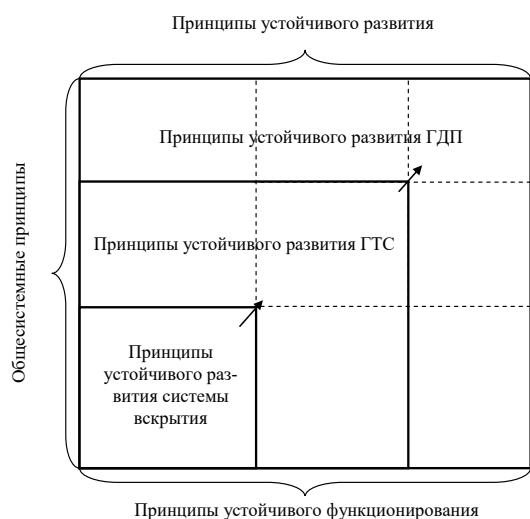


Рисунок 3.2 - Схема концепции проектирования и реализации принципов устойчивого функционирования и развития ГДП и подсистем

С учетом предложенного подхода существующие принципы были распределены по уровням реализации: общесистемные принципы, принципы, направленные на развитие ГДП, принципы, направленные на развитие ГТС и принципы, направленные на развитие подсистем ГТС, в частности системы вскрытия и систематизированы по признаку обеспечения устойчивости подсистем по следующим группам влияющих на устойчивость факторов: технические, технологические, экономические, экологические и социальные (табл. 3.2).

Таблица 3.2 - Система принципов устойчивого функционирования и развития

Использование предлагаемой системы принципов в практической деятельности ГДП позволит эффективно функционировать и устойчиво развиваться ГДП, обеспечить соответствие всех систем и подсистем ГДП целям концепции устойчивого развития и, как следствие, обеспечить достижения экономической, экологической и социальной эффективности при функционировании ГДП.

Горнодобывающие предприятия, функционируя в пределах запроектированного этапа разработки, обеспечивают добычу полезного ископаемого в установленных объемах. Рост глубины ведения горных работ приводит к увеличению затрат на разработку, главным образом в системе вскрытия. Поэтому принятие решения о переходе на новый этап разработки может происходить в период снижения общей эффективности разработки месторождения.

Выполненный в диссертационной работе анализ и исследования показали, что с увеличением глубины ведения горных работ затраты на реализацию новой стратегии, в том числе на создание и эксплуатацию системы вскрытия, будут закономерно возрастать, при этом тенденция роста будет различной, в зависимости от принимаемых и реализуемых решений в переходные периоды разработки месторождений. Это позволяет выдвинуть гипотезу закономерного изменения технико-экономических показателей функционирования горнодобывающего предприятия в переходные периоды (рис. 3.3). Полученные в результате исследований зависимости изменений грузооборота и затрат с увеличением глубины ведения горных работ для различных вариантов транспортного обеспечения на отдельных этапах вскрытия позволяют подтвердить данную гипотезу.

Как рассматривалось в [38], чем раньше принимается решение о начале переходного периода, тем больше возможных вариантов стратегий развития ГТС и параметров системы вскрытия может быть рассмотрено для обеспечения устойчивого функционирования и развития предприятия. При приближении к окончанию очередного этапа, дополнительные затраты и другие осложняющие факторы, которые возникают в переходный период, закономерно

приведут к неустойчивому функционированию ГТС вплоть до остановки добычи руды горнодобывающим предприятием (рис. 3.3).

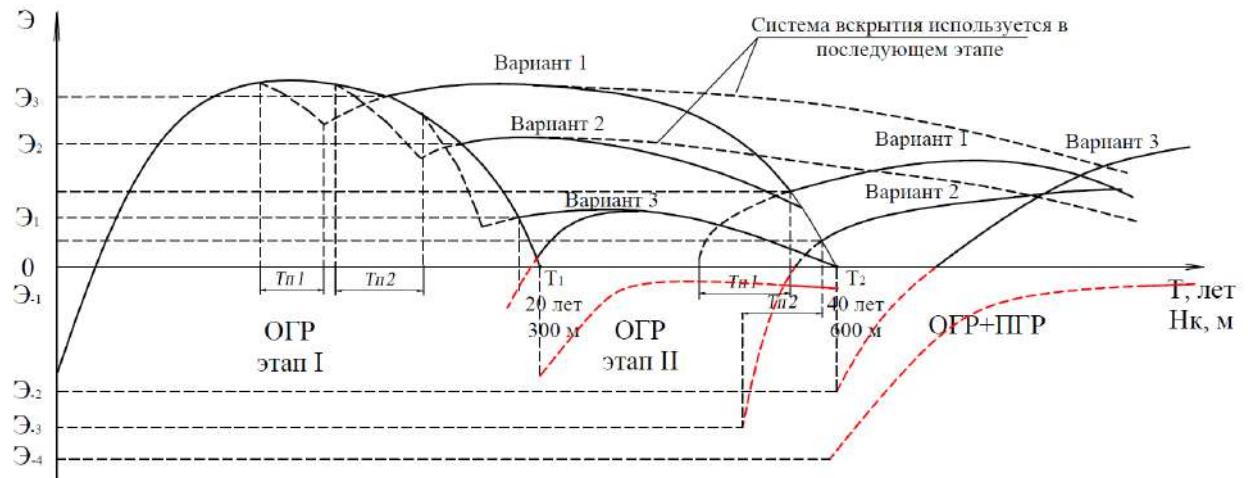


Рисунок 3.3 – Закономерное изменение экономической эффективности этапов вскрытия от глубины горных работ и периода разработки: Э – экономический эффект от реализации вариантов системы вскрытия, Т – время разработки месторождения, лет, Т₁, Т₂ – сроки окончания 1 и 2 проектных этапов вскрытия и разработки; Т_{п1}, Т_{п2} – продолжительность периода перехода на очередной этап вскрытия

На рис. 3.3 возрастающая форма кривых свидетельствуют о малом росте затрат, связанных с увеличением глубины ведения горных работ и, соответственно, большей величине получаемых доходов при условно постоянной цене на добываемую руду. Тенденция снижения экономической эффективности при приближении к окончанию этапа разработки свидетельствует о росте затрат в системе вскрытия. Варианты 1,2,3 имеют наибольший ранг в рассматриваемый период для достигнутой глубины ведения горных работ. По мере развития горных работ эффективность рассматриваемых стратегий развития будет снижаться, так как будут возрастать общие затраты на функционирование системы вскрытия. При приближении начала периода перехода на очередной этап вскрытия и соответствующей новой стратегии к моменту окончания очередного этапа разработки, возникают разрывы в добыче руды, что также негативно сказывается на показателях экономической эффективности и устойчивости

горнодобывающего предприятия, вплоть до постоянных отрицательных значений, свидетельствующих о неэффективности производства.

Рассмотренное ранее влияние внешних факторов на функционирование горнотехнических систем может повлиять на форму кривых, представленных на рис. 3.3, как в сторону их роста, так и снижения. Но при этом сохранится установленное закономерное изменение эффективности функционирования горнотехнической системы в переходные периоды и последующие этапы разработки месторождений.

При принятии решения об изменении параметров системы вскрытия в переходный период на новый этап предполагается рассмотрение ряда альтернативных конкурирующих вариантов, которые должны оцениваться не только по экономическим показателям, но также по другим, в том числе техническим и технологическим показателям, влияющим на устойчивость функционирования системы. Данные показатели предлагается объединить в один критерий, на основе которого выбирается вариант изменений системы вскрытия.

3.2 Обоснование критерия эффективности системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождения

Как было рассмотрено ранее, терминологическая база вскрытия месторождений и транспортирования горной массы в различных исследованиях рассматривается в составе различных систем. Следовательно, различаются и предлагаемые различными исследованиями критерии оценки эффективности вскрытия и грузопотоков, осуществляемых по вскрывающим выработкам.

Эффективность вскрытия месторождения и осуществления грузопотоков оценивается технологическими и экономическими показателями. Сравнивая различные способы и схемы вскрытия по технологическим критериям, как правило, оценивают объем горно-капитальных работ, т.е. суммарный объем

вскрывающих выработок. Экономически – оценивают затраты на проведение и оснащение данных выработок.

Оценивать эффективность карьерных грузопотоков можно в несколько этапов. На первом этапе необходимо сравнить виды, затем типы транспортных средств возможных к применению в заданных горнотехнических условиях, на втором этапе для принятых видов и типов транспортного оборудования производится сравнение возможных вариантов перемещения горной массы по имеющимся вскрывающим выработкам, на третьем этапе рассматривается целесообразность проходки новых вскрывающих выработок. Далее рассчитываются затраты на приобретение и монтаж транспортного оборудования, и коммуникаций и эксплуатационные затраты на транспортирование горной массы.

Так как горная промышленность характеризуется значительной удельной энергоемкостью по сравнению с другими отраслями. Наиболее энерго затратным процессом горного производства является транспортирование горной массы, который превосходит ближайший процесс взрывания более чем в 4 раза [282]. Для оценки эффективности применения различных видов карьерного транспорта многие исследователи используют также их энергетический анализ [58, 208]. Преимущество данного подхода состоит в том, что он позволяет сравнивать различные виды транспорта, работающие на разных видах энергии, через единый показатель. Однако данный подход позволяет учитывать только эксплуатационные затраты на транспорт, сравнивая виды карьерного транспорта между собой, не учитывая условия его эксплуатации.

В условиях разработки крутопадающих месторождений, как отмечалось ранее, значительные объемы перевозок будут выполняться автомобильным транспортом, даже при применении подъемников в карьере. Эффективность применения автотранспорта во многом определяет экономические показатели разработки месторождения. При этом показатели работы карьерного автотранспорта могут существенно различаться в схожих горнотехнических условиях эксплуатации, что не учитывается вышерассмотренными методиками. Показатели работы автотранспорта будут отличаться в зависимости от протяженности горизонтальных участков трассы, величины уклонов, движения на

подъем и спуск, качества дорожного покрытия и скорости движения. Поэтому, необходимо приводить различные условия работы автотранспорта к каким-либо равнозначным сравниваемым.

В своей диссертации профессор Галкин В.А., на основе анализа теории приведения условий работы автотранспорта к равнозначным и практики использования автотранспорта на карьерах цветной металлургии, предложил осуществлять приведение условий работы автотранспорта к эталонным [83].

Под приведенной длиной грузопотока в [83] понимается расстояние, на которое возможно перемещение груза в эталонных условиях с таким же расходом заданного вида ресурса, как и в реальном грузопотоке.

Эталонными условиями для карьерного грузопотока, осуществляемого автомобильным транспортом, являются прямолинейная горизонтальная дорога с асфальтобетонным (бетонным) покрытием и режим движения, обеспечивающий минимальную энергоемкость или трудоемкость транспортирования.

Приведенным грузооборотом автомобильного транспорта считают работу транспорта по перемещению заданного объема пород в эталонных условиях, на совершение которой требуется такое же количество ресурсов, как и в реальном грузопотоке. Если задана только необходимая высота перемещения пород грузопотоком, то должны быть определены уклон и тип покрытия автомобильных дорог, а также скорость движения автосамосвала, обеспечивающие минимальный расход ресурса. Это достигается установлением наименьшего в данных условиях приведенного расстояния транспортирования

$$l_{\text{пр}} = H_{\text{п.с.}} k_{\text{п.с.}} \rightarrow \min \quad (3.1)$$

где $H_{\text{п.с.}}$ - высота подъема (спуска) пород, м;

$k_{\text{п.с.}}$ - коэффициент перевода вертикального подъема (спуска) в равноценный по затратам эталонный путь.

С учетом данных исследований Галкиным В.А. предложены способ формирования рабочей зоны глубоких карьеров зонами концентрации и последовательность отсыпки отвалов вскрышных пород, позволяющие снизить ресурсоемкость процесса транспортирования гонной массы.

Использование в качестве критерия оценки транспортной работы более точно характеризует работу карьерного автотранспорта. Например, при

увеличении глубины и перемещении рабочей зоны на нижние горизонты резко увеличивается расстояние транспортирования горной массы. Если при этом, карьер всходит в стадию доработки этапа, то объемы транспортирования горной массы сокращаются, в тоже время транспортная работа либо сокращается менее интенсивно по сравнению с сокращением объемов перемещаемой горной массы (рис. 3.4), либо растет при поддержании объемов транспортирования на одном уровне [59].

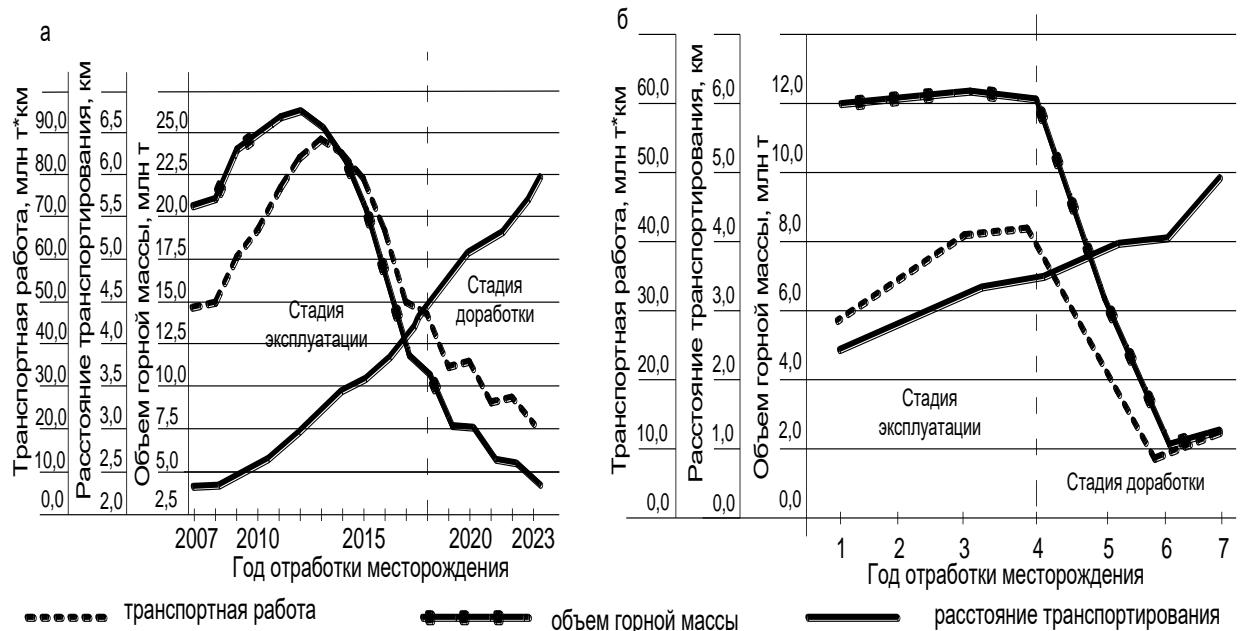


Рисунок 3.4 - Зависимости изменения транспортной работы, объема горной массы и расстояния транспортирования по годам отработки на месторождениях Малый Куйбас (а) и Джусинское (б)

Таким образом, исследования, выполненные Галкиным В.А., достаточно полно технологически позволяют охарактеризовать условия работы карьерного автотранспорта, сравнив с эталонными условиями, но не применимы к другим видам транспорта, а также не учитывают параметры вскрывающих выработок их влияние на параметры ведения горных работ.

Оценка транспортной работы для карьерного транспорта с использованием подъемников проведена в исследованиях [103]. В этой работе произведена технологическая оценка для новых и реконструируемых циклических-поточных технологий (ЦПТ) транспортирования путем определения оптимальной глубины ввода конвейерных линий по минимуму транспортной работы. В общем случае глубину ввода конвейера при ЦПТ предложено определить исходя из условия выполнения минимальной работы на транспортировку

добытой горной массы:

$$A = P \cdot (L_{\Gamma.a.} + L_{\Gamma.k.}) + P \cdot \left(\frac{H_a}{\sin \beta} + \frac{H_k}{\sin \alpha} \right), \rightarrow \min, \text{ т км} \quad (3.2)$$

где A - необходимая работа на транспортирование добытой горной массы, ткм; P - вес перемещаемой горной массы, т; $L_{\Gamma.a.}$ и $L_{\Gamma.k.}$ - длина горизонтальных участков транспортирования автомобилями и конвейером, соответственно, км; H_a и H_k - высота подъема горной массы при транспортировании автомобилями и конвейером, соответственно, км; β и α - углы автомобильных траншей и установки конвейера, град.

В исследованиях [103] также отмечается, что минимальной работе по подъему горной массы не всегда соответствует минимальная ее стоимость, поскольку в сложной системе транспортных звеньев используется оборудование, различающееся стоимостью, эксплуатационными затратами, видами потребляемой энергии и ее стоимостью, условиями получения кредита на приобретении оборудования и т.д. Поэтому для решения задачи необходимо перейти от физических величин оценки необходимой работы к стоимостной ее оценке. В качестве критерия для определения рациональной глубины ввода конвейера принят минимум затрат на работу по подъему горной массы:

$$C_n = A_n \cdot C_n = P \cdot \left(\frac{C_a \cdot H_a}{\sin \beta} + \frac{C_k \cdot H_k}{\sin \alpha} \right) \rightarrow \min \quad (3.3)$$

где C_n - стоимость подъема горной массы весом P на высоту $H_a + H_k$, долл., C_n - суммарная стоимость единицы работы (1 т. км) при использовании автотранспорта и конвейера, долл.; C_a и C_k - стоимость единицы работы (1 т км), выполняемой автомобилями и конвейером соответственно, долл.

Преимуществом методики, предложенной [103] для циклично-поточной технологии, является использование физических и стоимостных критериев оценки карьерного транспорта, и возможность оценить использование в карьере подъемников и автомобильного транспорта. Однако, в отличие от методики, предложенной в [83], не учитываются условия работы автотранспорта.

При разработке возможных стратегий изменений параметров текущего этапа разработки или при переходе на новый этап открытых горных работ для повышения экономической эффективности могут предусматриваться схемы с

внутренним отвалообразованием [198]. При этом оценивая условия работы карьерного транспорта при доставке породы во внешние и внутренние отвалы, расстояние транспортирования и транспортная работа могут быть одинаковыми. При этом именно приведенная транспортная работа, учитывающие условия транспортирования самосвалов, гружеными на подъем и спуск, будет существенно отличаться для схем с транспортированием во внешние и внутренние отвалы, а соответственно данный, параметр может в полной мере охарактеризовать преимущества данных схем по сравнению с транспортированием вскрыши во внешние отвалы. Для расчета величины приведенной транспортной работы необходимо определить приведенные расстояния транспортирования. Для этого определяются затраты ресурсов, в первую очередь топлива для различных условий движения автосамосвала груженого и порожнего: на подъем, на спуск, по горизонтали. Это возможно путем хронометражных измерений, либо путем детального анализа данных, получаемых с установленных на предприятиях АСУТП, которые согласно требований [221] должны быть реализованы на всех предприятиях 2 класса опасности, к которым относится основная доля рассматриваемых объектов исследования. При проведении в рамках данного диссертационного исследования работ, использовалась комбинация метода хронометражных наблюдений и анализа данных систем автоматизированной диспетчеризации на Михеевском карьере.

Также данная методика предусматривает условия, когда весь объем транспортируется автосамосвалами до подъемника и затем подъемником на поверхность. При этом на карьерах более распространены схемы, когда при наличии карьерного подъемника часть горной массы транспортируется на поверхность автосамосвалами. Для реализации стратегий с переходом на открыто-подземный способ разработки с технологическими схемами ЦПТ возможны различные варианты расположения перегрузочного пункта карьерного подъемника и выхода в карьер транспортной выработки подземного рудника (рис. 3.5). При этом транспортная работа A_{trk} , A_{tri} и A_{trj} , даже при одинаковых объемах и расстояниях транспортирования, будут отличаться, что повлияет на технико-экономические показатели применения конкретной схемы.

Все рассмотренные выше методики позволяют произвести технологическую оценку только карьерного транспорта и не характеризуют в полном

объеме систему вскрытия.

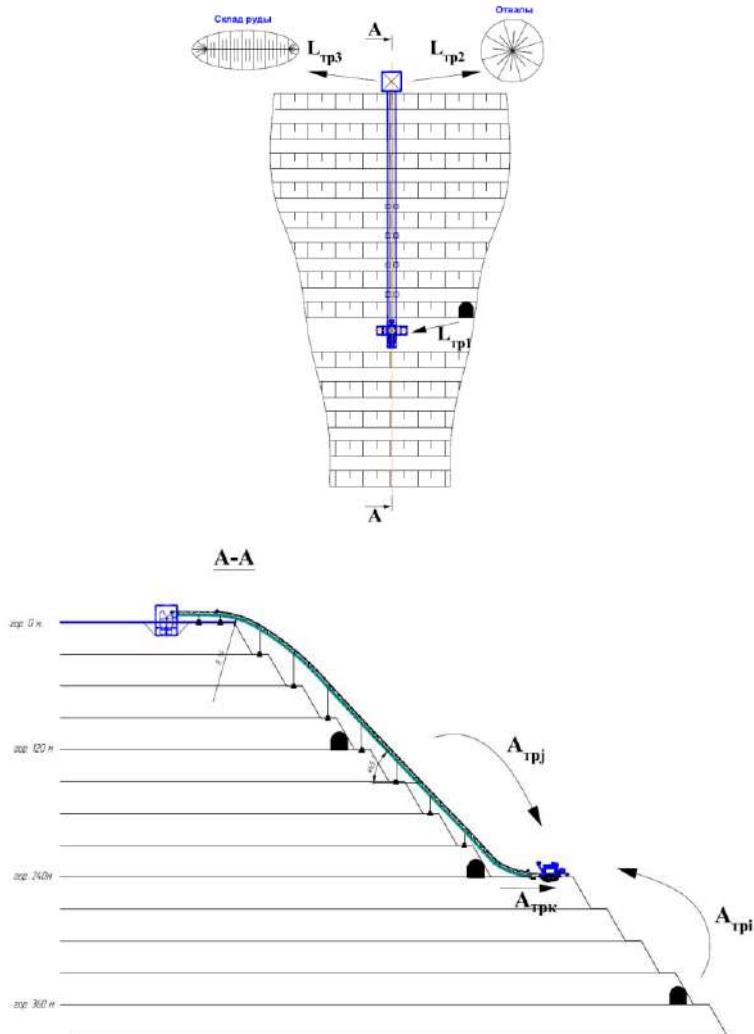


Рисунок 3.5 – Варианты совмещения карьерного перегрузочного пункта с транспортным выходом из подземного рудника в карьер

В исследованиях Анистратова Ю.И., Горюнова Ф.А. [9, 93] отмечается, что нестабильность ценовой политики не дает возможность с достаточной точностью оценивать схемы вскрытия карьеров в долгосрочной перспективе. Поэтому, предложено производить комплексную оценку вскрытия месторождения по технологическим и энергетическим показателям. В основу методики положен показатель энергопоглощения.

Согласно [93], энергопоглощение представляет собой величину энергии, количество которой теоретически необходимо и достаточно для изменения состояния или положения объекта разработки в процессах горного производства, и всегда меньше фактического расхода энергии. В данных исследованиях

предлагаемый критерий оценки объединяет три основных физических показателя для создания оценки схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров – это «Объем вскрывающих выработок», «Время движения транспорта» и так же, как и в ранее рассмотренных исследованиях учитывается «Энергосемкость транспорта» со следующими размерностями, соответственно: метр кубический (м^3), час (ч), грамм условного топлива (г у.т.).

Исследования, выполненные Горюновым Ф.А., позволяют в более полном объеме оценить схемы вскрытия сравниваемых вариантов, так как учитывают и объемы вскрывающих выработок и условия эксплуатации карьерного транспорта. К недостаткам данного подхода можно отнести ориентированность методики на колесные виды транспорта, так как критерий время движения характерен именно для них, отсутствие учета временной реализации рассматриваемых схем вскрытия, не учитываются экологические и социальные параметры, так как с увеличением глубины ведения горных работ влияние принимаемых решений на условия труда персонала и на окружающую среду приобретают все более высокий вес.

Оценивая вскрытие месторождений экономическими показателями, используют, как правило, те же критерии, что и при оценке эффективности вариантов разработки месторождений в целом: затраты, чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности, срок окупаемости капитальных вложений.

Выполненные исследования показали, что для схем вскрытия с использованием комбинированного транспорта, для условий разработки крутопадающих месторождений, необходимо использовать показатели, учитывающие особенности работы каждого вида транспорта и период использования принятой схемы вскрытия.

Использование приведенного грузооборота при комбинированных схемах вскрытия позволяет оценить варианты с различным расположением перегрузочного пункта относительно центра масс добычных или вскрышных работ. Приведенный грузооборот позволяет дифференцировать условия движения автосамосвалов на разгрузку по горизонтали, на подъем и спуск.

Представленный ранее анализ обоснования и оптимизации системы вскрытия при разработке глубоких месторождений показал, что целями оптимизации является сокращение расстояния транспортирования (транспортной работы), объемов горно-капитальных работ, увеличение времени эксплуатации на карьерах энергоэффективных видов транспорта, малочувствительных к увеличению глубины разработки, таких как подъемники различных типов.

Обоснованные выше параметры системы разработки имеют разную раз мерность и оказывают различное весовое влияние на итоговое решение в зависимости от рассматриваемых условий. Например, при производстве горных работ на глубоких горизонтах возрастает значимость экологических и социальных параметров, влияющих на условия работы персонала, на безопасность производства горных работ, с учетом этого при рассмотрении конкурентных вариантов, для близких по экономическим параметрам, могут быть приняты решения в пользу тех, у которых лучше экологические условия. При определении параметров этапа вскрытия не учитывается трудоемкость, продолжительность, сложность переноса перегрузочного пункта, так как многие параметры, которые влияющие на оценку принимаемых решений могут быть охарактеризованы только качественными величинами (много, мало, высокое, низкое, хорошо, плохо и пр.). Поэтому для оценки эффективности системы вскрытия необходим многокритериальный подход, учитывающий данные особенности. Сравнение и выбор вариантов системы вскрытия и эффективность ее применения предлагается определять на основе комплексного критерия эффективности системы вскрытия, которым является ранговый коэффициент, учитывающий качественные и количественные значения параметров и их весовые коэффициенты по рассматриваемым вариантам [41]. В общем виде разработанный критерий имеет следующий вид:

$$K_{\text{есв}} = f(x_{ij}; w_j; k_i) \rightarrow \max, \quad (3.4)$$

где i – влияющий параметр; n – количество учитываемых параметров; w_j – весовой коэффициент параметра; k_i – функция полезности альтернатив.

Комплексный критерий эффективности системы вскрытия ($K_{\text{есв}}$) позволяет учитывать большое количество параметров, качественную и

количественную величину, а также целевую функцию каждого параметра. В качестве функции принадлежности в настоящей работе использована треугольная функция. Согласно предлагаемой модели, матрица принятия решения выглядит следующим образом:

$$K_{\text{есв}} = A_1 \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Где x_{ij} – значение оценки i -й альтернативы по j -му критерию для всех параметров системы вскрытия; A_i – стратегия устойчивого развития ГТС (альтернатива) $i = 1, 2, \dots, m$; C_j - параметр системы вскрытия $j = 1, 2, \dots, n$; W_j – весовые коэффициенты параметров.

$$W_j = \sum_{i=1}^m (w_1, w_2, \dots, w_n) = 1 \quad (3.6)$$

Весовые коэффициенты необходимы для определения относительной важности каждого параметра.

Для расчета значений рейтингового коэффициента необходимо произвести ранжирование параметров, что позволит определить их весовые коэффициенты, а также выбрать метод расчета. При выборе метода принятия решения по выбору стратегии развития горнотехнической системы необходимо также учитывать, что параметры системы вскрытия имеют различные целевые значения для получения наилучшего результата (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Целевые значения параметров оценки системы вскрытия

Группа факторов	Группы параметров	Параметры и показатели	Описание	Цель
Технические	Вид транспорта (N)	Один вид	В карьере применяется только автомобильный транспорт	min
		Комбинированный транспорт	В карьере применяется комбинация автомобильного транспорта и карьерных подъемников.	max
Технологические	Производительность транспортного комплекса (QT)	Количество транспортных средств, шт	Количество транспортного оборудования, одновременно работающего в карьере.	min
		Производительность транспортного средства, млн.т/год	Объем горной массы, перевозимый транспортом в течение года	max

Группа факторов	Группы параметров	Параметры и показатели	Описание	Цель
Экономические	Приведенная транспортная работа (АТ)	<i>Количество перегрузочных пунктов в карьере</i>	Количество точек перегрузки горной массы с автомобильного транспорта в карьерные подъемники	min
		<i>Производительность перегрузочного пункта</i>	Объем горной массы, который может быть перегружен с одного вида транспорта на другой в одной точке перегрузки	max
		Расстояние транспортирования, м	Средняя протяженность транспортных коммуникаций от мест погрузки горной массы до пунктов разгрузки	min
		Высота подъема горной массы, м	Перепад высот между пунктами погрузки и разгрузки горной массы.	min
		Объем перевозок, млн.т/год	Годовая производительность карьера по горной массе	min
	Объем вскрывающих выработок (V)	Глубина вскрываемой части карьера, м	Определяет шаг этапа вскрытия	min
		Ширина (сечение) выработки, м	Ширина траншеи по дну (площадь поперечного сечения траншеи)	min
		Протяженность (уклон) выработки, м	Длина траншеи (величина уклона траншеи)	min
	Экономическая эффективность (E)	Период использования системы вскрытия (T)	Период времени, в течение которого формируется новая система вскрытия	min
		Продолжительность этапа разработки, лет	Период времени, в течение которого предполагается разработка месторождения по проекту	max
		Число этапов разработки	Количество этапов, на которые предусматривается использование системы вскрытия	max
	Социальные	Капитальные затраты, млн. руб	Затраты на создание новой системы вскрытия (оборудование, проходка выработок и пр.)	min
		Эксплуатационные затраты, млн.р/год	Затраты средств на функционирование системы вскрытия (топливо, энергия и пр.)	min
		<i>Совокупный доход</i>	Доход, получаемый от реализации принятых решений	max
	Социальная эффективность (S)	<i>Рост производительности труда</i>	Увеличение объема добытой горной массы, приходящегося на одного работающего	max
		<i>Условия работы персонала</i>	Комплексный показатель, характеризующий эргономику рабочих мест, безопасность, экологическое воздействие рассматриваемой альтернативы на деятельность трудящихся.	max
		<i>Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования</i>	Показатель, учитывающий возможности автоматизации процесса транспортирования для новой системы вскрытия	max

Группа факторов	Группы параметров	Параметры и показатели	Описание	Цель
Экологические	Экологическая эффективность (ЕК)	<i>Объемы выбросов загрязняющих веществ</i>	Количество выбросов загрязняющих веществ от транспорта	min
		<i>Объем образующихся отходов</i>	Количество отходов, образующихся при формировании системы вскрытия и эксплуатации транспорта	min

В табл. 3.3 параметры, обозначенные курсивом, имеют качественную оценку, остальные количественную. Для оценки решения к условиям конкретного предприятия некоторые качественные параметры из табл. 3.3 могут также характеризоваться количественно, в зависимости от условий решаемой задачи параметры могут также изменять свои целевые значения.

Наибольшие значения критерия эффективности свидетельствуют о наиболее предпочтительном варианте из рассматриваемых. Применительно к отдельным оцениваемым параметрами наилучшие их значения достигаются при приближении к оптимальным условиям. Оптимальным (эталонным) условиям функционирования системы вскрытия соответствуют:

- *по транспортной работе* – перемещение горной массы по кратчайшему расстоянию: вскрыша - от условного центра масс вскрышной зоны до отвала, полезное ископаемое - от условного центра масс добычной зоны до рудного склада на поверхности или перерабатывающего производства. Центр масс понижается по мере развития горных работ. При использовании комбинированных видов транспорта кратчайшее расстояние будет, при транспортировании всей горной массы карьерным подъемником, поперек борта карьера. Расстояние транспортирования горной массы складывается из транспортирования по дорогам в карьере, транспортирования по борту подъемником, если он имеется, и расстояния транспортирования по поверхности. При применении комбинированного транспорта в карьере минимальное расстояние может достигаться несколькими способами: размещением подъемника на участке борта, расположенным ближе к месту окончания грузопотока (отвал, склад руды), минимизацией расстояния от условного центра добычных или вскрышных работ до подъемника, минимизацией расстояния по поверхности от подъемника до конечного пункта (рис. 3.6). При этом предлагаемая модель может учитывать различные варианты компоновки системы вскрытия – расположение подъемника для доставки вскрышных пород и полезного ископаемого на отдельных

участках борта, размещение вскрышного и добычного подъемников в одной вскрышной выработке, а также использование различных видов транспорта для доставки вскрышных пород и полезного ископаемого. Для карьеров окружной формы отмечаются наибольшие приближение значения показателя объемов вскрывающих выработок и приведенной транспортной работы к оптимальному значению по сравнению с карьерами вытянутой формы, однако на карьерах окружной формы наиболее сложно изменять существующую схему вскрытия и создавать новую, поэтому для некоторых вариантов отмечается максимальное отклонение от оптимального значения по времени использования новой схемы вскрытия.

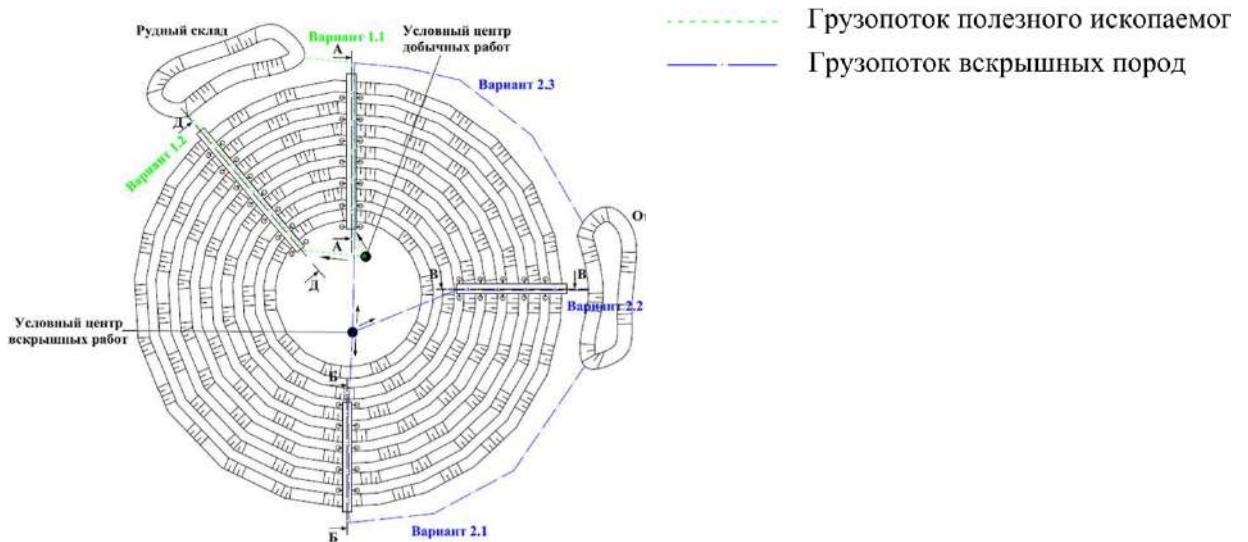


Рисунок 3.6 – Схема выбора оптимального направления транспортирования для минимизации транспортной работы

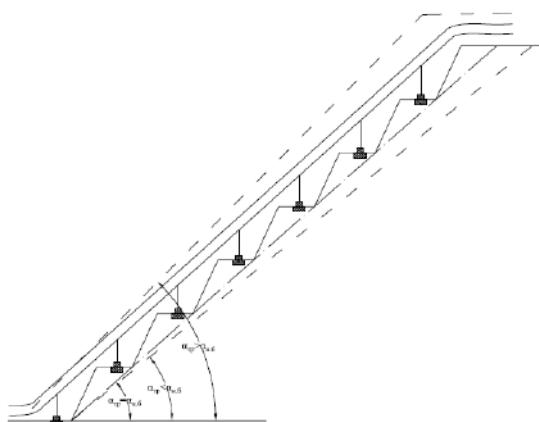
Карьеры вытянутой формы со сложной формой трассы характеризуются наибольшим отклонением показателя объема вскрывающих выработок от эталонных значений, что также отражается в последующем при определении показателя по затратам на создание системы вскрытия. Рассмотрение в структуре системы вскрытия различных видов и типов транспортных средств, с соответствующими параметрами их эксплуатации позволяет подобрать такие условия функционирования системы вскрытия, которые положительно влияют на устойчивость горнотехнической системы в целом.

- по объемам вскрывающих выработок – проведение крутых траншей под углом равным углу нерабочего борта карьера. При этом основание крутой траншеи соответствует нижней бровке уступа. При расположении подъемника на опорах, также принимается угол его наклона равный углу нерабочего борта,

так как при этом объем работ, связанный с сооружением опор подъемника будет минимальный. Возможные варианты расположения крутой траншеи и конструкций подъемников на нерабочем борту представлены на рис. 3.7.

- *по времени применения системы вскрытия* – использование схемы вскрытия в течение всего этапа разработки. Изменения, привносимые в систему вскрытия, всегда направлены на оптимизацию процесса транспортирования горной массы. Соответственно, чем больший промежуток времени в течение этапа функционирует новая система вскрытия, тем более эффективна она в течение этапа.

разрез по линиям А-А, Б-Б, В-В, Д-Д Рисунок 3.7 – Варианты расположения карьерных подъемников на борту карьера при обосновании оптимальных объемов работ по проведению выработок: α_{tp} – угол наклона крутой траншеи или подъемника на опорах; $\alpha_{n.b}$ – угол наклона нерабочего борта карьера



– *по экономическим показателям* – система вскрытия, из возможных и рассматриваемых к применению, которая будет предусматривать наименьшую величину эксплуатационных расходов и капитальных затрат на создание системы вскрытия.

– *по социальным и экологическим показателям* – как говорилось ранее, в системе вскрытия задействована основная часть технических устройств для добычи полезного ископаемого, персонала, а также от работы данных устройств образуется большая часть выбросов загрязняющих веществ и отходов. Наилучшие условия будут в карьере при развитии схем с карьерными подъемниками, в том числе циклическо-поточной технологии. От подъемников наблюдается меньшее негативное воздействие на окружающую среду, данные средства транспорта легко поддаются автоматизации, также условия труда

характеризуются как более безопасные, значит, такие решения снижают количество обслуживающего персонала, который должен находиться в рабочей зоне глубоких горизонтов.

Система вскрытия подразумевает капитальные и эксплуатационные затраты. Капитальные – связаны с проходкой выработок, покупкой оборудования, строительством необходимых конструкций. Эксплуатационные затраты связаны с затратами на эксплуатацию – энергоресурсы, материалы и т.д. При проектировании системы вскрытия возможны различные варианты получения эффекта от ее применения. Например, крупные капитальные затраты могут быть пойти на создание системы вскрытия с минимальными эксплуатационными затратами, при минимуме затрат капитальных возможны существенные эксплуатационные затраты. Также возможен различный симбиоз данных крайних положений. При этом у лица, принимающего решение о переходном периоде, может быть, различное отношение к данным затратам – минимальные капитальные затраты и последующие высокие эксплуатационные либо обратный вариант. Т.е. эти виды затрат будут иметь различный вес, что позволяет учесть предлагаемый критерий.

Использование данного критерия предполагает установление значений каждого параметра, определение весовых коэффициентов – ранжирование параметров. Входящие в расчет критерия параметры относятся к различным учитываемым факторам: техническим, технологическим, экономическим, экологическим и социальным. Соответственно, оцениваемые факторы имеют различную размерность. Помимо этого, не все факторы, входящие в расчет, не могут быть оценены количественными значениями. Такие параметры оцениваются качественными значениями. Для таких условий возможны к применению методы многокритериального анализа (MCDM, MCDA).

3.3 Ранжирование параметров системы вскрытия

Наиболее часто используемым методом MCDM является АНР [349]. Основными преимуществами метода являются [349, 367]: возможность выбора наилучших альтернатив по каждому критерию, которые описаны в простой математической форме; возможность использования количественных и

качественных критериев, а также альтернатив по той же шкале предпочтений; простота использования и несложность вычислительных процессов; простота проверки согласованности суждений; АНР поддерживается удобными для пользователя программными пакетами (такими как Expert Choice и Super Decision).

Использование fuzzy АНР, в отличие от метода анализа иерархии, предложенного Томасом Саати [342], позволяет не только исключить такие недостатки, как несбалансированность шкалы суждений, неопределенность и субъективность суждения экспертов, но и повысить точность ранжирования [326].

Для ранжирования параметров использовался метод нечеткой аналитической иерархии – fuzzy АНР.

Иерархическая модель системы параметров и показателей системы вскрытия включает два уровня – 8 групп параметров и 23 параметра и показателя системы вскрытия (табл. 2.7).

В качестве функции принадлежности в настоящей работе использована треугольная функция [279], которая задаётся условиями:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases} \quad (3.8)$$

где a – левый ноль; b – точка, в которой значение функции принадлежности равно 1; c – правый ноль (рис. 3.8).

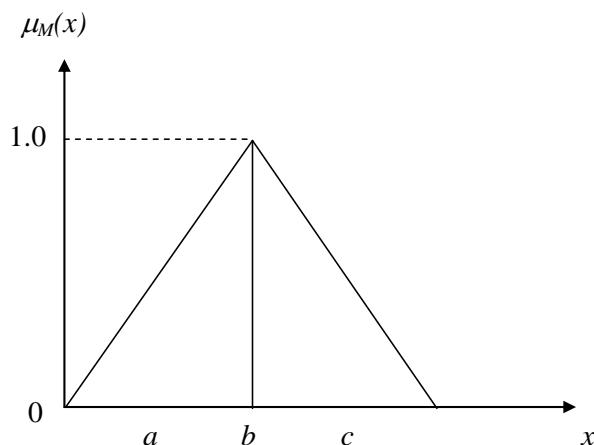


Рисунок 3.8 - Треугольная функция принадлежности

Лингвистические переменные и треугольные нечеткие числа для оценки параметров и показателей системы вскрытия представлены в табл. 3.3 [172].

Таблица 3.3 - Нечеткие числа и лингвистические переменные оценки системы вскрытия

Нечеткое число	Лингвистическая переменная	Шкала нечетких чисел
1	Равная важность	(1,1,3)
2	Умеренное превосходство	(1,3,5)
3	Значительное превосходство	(3,5,7)
4	Сильное превосходство	(5,7,9)
5	Абсолютное превосходство	(7,9,10)

Оценка выполняется в четыре этапа.

1 этап – построение матриц парного сравнения $\tilde{A}(\tilde{e}_{ij})$ для всех параметров и показателей системы вскрытия. Это необходимо для определения относительной важности каждой пары группы параметров (показателей) между собой

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{e}_{12} & \dots & \tilde{e}_{1n} \\ \tilde{e}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{e}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{e}_{(n-1)1} & \tilde{e}_{(n-1)2} & \dots & \tilde{e}_{(n-1)n} \\ \tilde{e}_{n2} & \tilde{e}_{n2} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{e}_{12} & \dots & \tilde{e}_{1n} \\ (1,1,1)/\tilde{e}_{12} & (1,1,1) & \dots & \tilde{e}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1,1,1)/\tilde{e}_{1(n-1)} & (1,1,1)/\tilde{e}_{2(n-1)} & \dots & \tilde{e}_{(n-1)n} \\ (1,1,1)/\tilde{e}_{1n} & (1,1,1)/\tilde{e}_{2n} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Матрица суждений \tilde{A} является нечёткой матрицей $n \times n$, содержащей нечёткие числа \tilde{e}_{ij}

$$\tilde{e}_{ij} = \begin{cases} 1, i = j; \\ 9^{-1}, 8^{-1}, 7^{-1}, 6^{-1}, 5^{-1}, 4^{-1}, 3^{-1}, 2^{-1}, 1^{-1}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, i \neq j. \end{cases} \quad (3.10)$$

2 этап – определение значения нечёткой синтетической степени (экстента) S_i относительно i -го критерия

$$S_i = \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \right]^{-1}, \quad (3.11)$$

где

$$\sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j \right), \quad (3.12)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n c_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} \right) \quad (3.13)$$

3 этап – расчет меры возможности. Мера возможности $M_2 = (a_2, b_2, c_2) > M_1 = (a_1, b_1, c_1)$ определяется как

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M1(x)}, \mu_{M2(y)})] = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M2(d)}, \quad (3.14)$$

$$\mu_M(d) = \begin{cases} 1, & \text{если } b_2 \geq b_1; \\ 0, & \text{если } a_1 \geq c_2; \\ \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (3.15)$$

где d – ордината самой высокой точки пересечения D между $\mu_{M1(x)}$ и $\mu_{M2(y)}$.

Мера возможности для выпуклого нечёткого числа больше чем k выпуклых нечётких чисел $M_i (i=1,2,3,\dots,k)$ и рассчитывается по формуле

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1), \dots, (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i=1,2,\dots,k \quad (3.16)$$

Величина $d'(A_i)$ рассчитывается по формуле

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \text{ для } k=1,2,\dots,n; k \neq i. \quad (3.17)$$

4 этап – расчет вектора приоритетов и нормализованных весовых векторов.

Вектор приоритетов определяется как

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T, \quad (3.18)$$

где $A_i (i=1,2,\dots,n)$ – вектор оцениваемых параметров, состоящий из n элементов.

Нормализованные весовые векторы

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T, \quad (3.19)$$

где W – нечёткое число.

В результате использования метода fuzzy АНР будут получены значения веса параметров и показателей системы вскрытия.

Для оценки параметров и показателей системы вскрытия были выбраны 10 академических экспертов (табл. 3.4). Методом анкетирования выполнена оценка параметров и показателей системы вскрытия с использованием

лингвистических переменных и треугольных нечетких чисел (см. табл. 3.3).

Таблица 3.4 - Сведения об экспертах

№	Ученая степень	Количество экспертов	Область научных интересов эксперта	Стаж работы в области исследований
1	Докт.техн.наук	2	Геотехнология, проектирование горнотехнических систем	41
		2	Промышленный транспорт, логистика	34
2	Канд.техн.наук	4	Геотехнология, проектирование горнотехнических систем	16,5
		2	Промышленный транспорт, логистика, геотехнология	19

По результатам оценки 10 экспертов составлены матрицы нечетких агрегированных оценок параметров и показателей системы вскрытия (табл. 3.5–14).

Таблица 3.5 - Матрица нечетких агрегированных оценок параметров

Группы параметров	N	QT	AT	V	T	E	S	EK
Вид транспорта (N)	(1,1,1)	(0.3704, 0.5213, 0.8232)	(0.4409, 0.6284, 0.9342)	(0.7563, 1.1746, 2.0010)	(0.4586, 0.6389, 1.1247)	(0.1789, 0.2456, 0.4077)	(0.3180, 0.4753, 0.7822)	(0.5708, 0.8520, 1.5133)
Производительность транспортного комплекса (QT)	(1.2148, 1.9184, 2.6999)	(1,1,1)	(1.2785, 1.8228, 3.4728)	(1.0605, 1.7776, 3.1933)	(1.3559, 1.9348, 3.8761)	(0.2229, 0.2984, 0.5345)	(0.5104, 0.7014, 1.2910)	(0.6439, 0.9827, 1.7964)
Приведенная транспортная работа (AT)	(1.0705, 1.5913, 2.2679)	(0.2880, 0.5486, 0.7822)	(1,1,1)	(0.6226, 0.9338, 1.6095)	(1.2785, 1.7776, 3.2999)	(0.2638, 0.3815, 0.6834)	(0.4312, 0.6123, 1.0627)	(0.5626, 0.8805, 1.5683)
Объем вскрывающих выработок (V)	(0.4998, 0.8513, 1.3222)	(0.3132, 0.5626, 0.9429)	(0.6213, 1.0709, 1.6063)	(1,1,1)	(0.5725, 0.8730, 1.5133)	(0.2707, 0.3912, 0.7008)	(0.4813, 0.6444, 1.0990)	(0.6776, 1.0163, 1.8421)
Период использования системы вскрытия (T)	(0.8891, 1.5651, 2.1805)	(0.2580, 0.5169, 0.7375)	(0.3030, 0.5626, 0.7822)	(0.6608, 1.1455, 1.7469)	(1,1,1)	(0.2470, 0.3505, 0.7248)	(0.4246, 0.5774, 1.0605)	(0.3804, 0.5213, 0.9847)
Экономическая эффективность (E)	(2.4526, 4.0710, 5.5895)	(1.8708, 3.3511, 4.4869)	(1.4633, 2.6212, 3.7906)	(1.4269, 2.5561, 3.6935)	(1.3797, 2.8529, 4.0479)	(1,1,1)	(1.5518, 2.3126, 4.4309)	(1.4269, 2.0010, 3.9747)
Социальная эффективность (S)	(1.2785, 2.1041, 3.1444)	(0.7746, 1.4258, 1.9592)	(0.9410, 1.6332, 2.3191)	(0.9099, 1.5518, 2.0778)	(0.9429, 1.7321, 2.3551)	(0.2257, 0.4324, 0.6444)	(1,1,1)	(0.7496, 1.0176, 2.1992)
Экологическая эффективность (EK)	(0.6608, 1.1737, 1.7518)	(0.5567, 1.0176, 1.5531)	(0.6376, 1.1358, 1.7776)	(0.5428, 0.9839, 1.4758)	(1.0155, 1.9184, 2.6286)	(0.2516, 0.4998, 0.7008)	(0.4547, 0.9827, 1.3341)	(1,1,1)

Таблица 3.6 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Вид транспорта»

Показатели	N1	N2
Один вид транспорта в карьере (N1)	(1,1,1)	(0.2855, 0.3973, 0.6345)
Комбинированный транспорт (N2)	(1.5760, 2.5171, 3.5025)	(1,1,1)

Таблица 3.7 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Производительность транспортного комплекса»

Показатели	QT1	QT2	QT3	QT4
Количество транспортных средств (QT1)	(1,1,1)	(0.3609, 0.5213, 0.8448)	(0.4870, 0.7248, 1.3915)	(0.5769, 0.8232, 1.4758)
Производительность транспортного средства (QT2)	(1.1837, 1.9184, 2.7709)	(1,1,1)	(0.7822, 1.1543, 2.0050)	(0.8232, 1.1455, 2.1761)
Количество перегрузочных пунктов в карьере (QT3)	0.7186, 1.3797, 2.0536)	(0.4987, 0.8663, 1.2785)	(1,1,1)	(0.7740, 1.3797, 2.917)
Производительность перегрузочного пункта (QT4)	0.6776, 1.2148, 1.7335)	(0.4595, 0.8730, 1.2148)	(0.4181, 0.7248, 1.2920)	(1,1,1)

Таблица 3.8 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Приведенная транспортная работа»

Показатели	AT1	AT2	AT3
Расстояние транспортирования (AT1)	(1,1,1)	(0.3912, 0.5169, 0.9338)	(0.6483, 0.9036, 1.5133)
Высота подъема горной массы (AT2)	(1.0709, 1.9348, 2.5561)	(1,1,1)	(0.7740, 1.1746, 1.9553)
Объем перевозок (AT3)	(0.6608, 1.1067, 1.5424)	(0.5114, 0.8513, 1.2920)	(1,1,1)

Таблица 3.9 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Объем вскрывающих выработок»

Показатели	V1	V2	V3
Глубина вскрываемой части карьера (V1)	(1,1,1)	(1.2899, 2.1947, 3.4968)	(1.3444, 2.5365, 4.0398)
Ширина (сечение) выработки (V2)	(0.2860, 0.4556, 0.7752)	(1,1,1)	(0.3189, 0.4915, 1.0342)
Протяженность (уклон) выработки (V3)	(0.2475, 0.3942, 0.7438)	(0.9669, 2.0345, 3.1356)	(1,1,1)

Таблица 3.10 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Период использования системы вскрытия»

Показатели	T1	T2	T3
Продолжительность формирования системы вскрытия (T1)	(1,1,1)	(0.8027, 1.1928, 1.7877)	(1.3559, 2.2315, 3.3443)
Продолжительность этапа разработки (T2)	(0.5594, 0.8383, 1.2457)	(1,1,1)	(0.8441, 1.4758, 2.5365)
Число этапов разработки (T3)	(0.2990, 0.4481, 0.7375)	(0.3942, 0.6776, 1.1847)	(1,1,1)

Таблица 3.11 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Экономическая эффективность»

Показатели	E1	E2	E3
Капитальные затраты (E1)	(1,1,1)	(0.6603, 1.1161, 1.9856)	(0.1740, 0.2607, 0.4998)
Эксплуатационные затраты (E2)	(0.5036, 0.8960, 1.5146)	(1,1,1)	(0.2281, 0.3418, 0.6071)
Совокупный доход / Total income (E3)	(2.0010, 3.8354, 5.7481)	(1.6471, 2.9255, 4.3844)	(1,1,1)

Таблица 3.12 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Социальная эффективность»

Показатели	S1	S2	S3
Производительность труда (S1)	(1,1,1)	(0.3356, 0.5213, 1.1161)	(1.3417, 1.9184, 3.0664)
Условия работы персонала (S2)	(0.8960, 1.9184, 2.9794)	(1,1,1)	(1.2564, 2.4506, 3.7906)
Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования (S3)	(0.3261, 0.5213, 0.7453)	(0.2638, 0.4081, 0.7959)	(1,1,1)

Таблица 3.13 - Матрица нечетких агрегированных оценок показателей группы «Экологическая эффективность»

Показатели	EK1	EK2
Объемы выбросов загрязняющих веществ (EK1)	(1,1,1)	(1.0254, 1.5926, 2.8311)
Объем образующихся отходов (EK2)	(0.3532, 0.6279, 0.9752)	(1,1,1)

Пример расчета ранжирования показателей системы вскрытия

Рассмотрим пример расчета ранжирования параметров системы вскрытия.

1. По результатам оценки 10 экспертов составлена матрица нечетких агрегированных оценок параметров системы вскрытия (табл. 3.5). Итоговые среднегеометрические значения нечетких оценок получены с использованием подхода, представленного в [276].

2. С использованием формул (3.9)–(3.11) определяется значение нечеткой синтетической степени S_i (табл. 3.14).

Для группы параметров «Вид транспорта» N получим

$$\sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} = (1 + 0.3704 + 0.4409 + 0.7563 + 0.4586 + 0.1789 + 0.3180 + 0.5708),$$

$$(1 + 0.5213 + 0.6284 + 1.1746 + 0.6389 + 0.2456 + 0.4753 + 0.8520), (1 + 0.8232 + 0.9342 + 2.0010 + 1.1247 + 0.4077 + 0.7822 + 1.5133) = (4.0940, 5.5362, 8.5863)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \right]^{-1} = (1 / (8.5863 + 17.8640 + 12.2739 + 10.0267 + 9.2171 + 31.0142 + 15.6993 + 12.2218), 1 / (5.5362 + 10.4360 + 7.7256 + 6.4098 + 6.2391 + 20.7659 + 10.8970 + 8.7118), 1 / (4.0940 + 7.2869 + 5.5171 + 4.4363 + 4.1630 + 12.5721 + 6.8222 + 5.1198)) = (1 / 116.9032, 1 / 76.7213, 1 / 50.0112)$$

$$S_i = (4.0940 * 0.008554, 5.5362 * 0.013034, 8.5863 * 0.019996) = (0.03502, 0.07216, 0.17169).$$

Таблица 3.14 - Результаты расчета значения нечеткой синтетической степени

Группы параметров	$\sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j \right)$	$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{e}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n c_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} \right)$	S_i
N	(4.0940, 5.5362, 8.5863)		(0.03502, 0.07216, 0.17169)
QT	(7.2869, 10.4360, 17.8640)		(0.06233, 0.13603, 0.3572)
AT	(5.5171, 7.7256, 12.2739)		(0.04719, 0.1007, 0.24542)
V	(4.4363, 6.4098, 10.0267)		(0.03795, 0.08355, 0.20049)
T	(4.1630, 6.2391, 9.2171)		(0.03561, 0.08132, 0.1843)
E	(12.5721, 20.7659, 31.0142)		(0.10754, 0.27067, 0.62015)
S	(6.8222, 10.8970, 15.6993)		(0.05836, 0.14203, 0.31392)
EK	(5.1198, 8.7118, 12.2218)		(0.0438, 0.11355, 0.24438)

3. Выполняется расчет меры возможности с использованием формул (6)–(8) и величина $d'(A_i)$ по формуле (9).

$$V(M_2 \geq M_1) = (0,06233-0,17169)/((0,07216-0,17169)-(0,13603-0,06233))=0,6313$$

$$V(M_3 \geq M_1) = (0,04719-0,17169)/((0,07216-0,17169)-(0,1007-0,06233))=0,81352$$

и т.д.

$$d(A_i) = \min(0.6313, 0.81352, 0.92154, 0.93691, 0.24422, 0.6186, 0.75549)=0.24422$$

Результаты расчетов представлены в табл. 3.15.

Таблица 3.15 - Результаты расчета меры возможности критериев

Группы параметров	N	QT	AT	V	T	E	S	EK	$d(A_i)$
N	—	0.6313	0.81352	0.92154	0.93691	0.24422	0.6186	0.75549	0.24422
QT	1	—	1	1	1	0.64964	0.98029	1	0.64964
AT	1	0.83825	—	1	1	0.44788	0.81902	0.94007	0.44788
V	1	0.72472	0.89938	—	1	0.33187	0.70847	0.83929	0.33187
T	1	0.69037	0.87619	0.98503	—	0.28845	0.67474	0.81342	0.28845
E	1	1	1	1	1	—	1	1	1
S	1	1	1	1	1	0.61603	—	1	0.61603
EK	1	0.89011	1	1	1	0.46551	0.86722	—	0.46551

4. Выполняется расчет вектора приоритетов и нормализованных весовых векторов.

Весовой вектор каждого параметра $W' = 0.24422, 0.64964, 0.44788, 0.33187, 0.28845, 1, 0.61603, 0.46551$.

Посредством нормализации конечный вектор веса $W = 0.0604, 0.16066, 0.11076, 0.08207, 0.07134, 0.2473, 0.15235, 0.11512$.

Для остальных параметров и показателей системы вскрытия расчет выполняется аналогичным образом.

Для сопоставления подходов к достижению целей устойчивого развития академических и практических были дополнительно привлечены к оценке 10 производственных экспертов (табл. 3.16).

Таблица 3.16 – Сведения о производственных экспертах

№	Должность (позиция в штате) / Ученая степень	Количество экспертов	Область деятельности эксперта	Стаж работы в области исследований
1	Руководящий состав (Канд.техн.наук)	1	Добыча железной руды	15
2	Руководящий состав	3	Разработка месторождений меди	5-9
3	Высший руководящий состав, руководящий состав	3	Разработка кимберлитовых и др. месторождений	7-10
4	Высший руководящий состав, руководящий состав	2	Проектирование, Автоматизация горных производств	10-14
	Руководящий состав (Канд.техн.наук)	1		35

Расчеты выполнялись аналогичным образом. Результаты ранжирования представлены в табл. 3.17-3.18 и на рис.3.9-3.11.

Таблица 3.17- Результаты ранжирования групп параметров системы вскрытия

Группы параметров	Вес групп / Ранг					
	Ученые	Ранг	Производство	Ранг	Общее	Ранг
Вид транспорта (N)	0,06028	8	0,13156	5	0,09149	6
Производительность транспортного комплекса (QT)	0,15939	2	0,18514	2	0,17096	2
Приведенная транспортная работа (AT)	0,11091	5	0,13566	4	0,12176	4
Объем вскрывающих выработок (V)	0,08207	6	0,16230	3	0,12326	3
Период использования системы вскрытия (T)	0,07127	7	0,13064	6	0,09931	5
Экономическая эффективность (E)	0,24812	1	0,24870	1	0,26678	1
Социальная эффективность (S)	0,15269	3	0,00471	7	0,07378	7
Экологическая эффективность (EK)	0,11528	4	0,00129	8	0,05267	8

Таблица 3.18- Результаты ранжирования параметров системы вскрытия

Параметры	Вес / Ранг						Общий вес / Общий ранг					
	Ученые	Ранг	Производство	Ранг	Общее	Ранг	Ученые	Ранг	Производство	Ранг	Общее	Ранг
Один вид (N1)	0,0789	2	0,1046	2	0,0934	2	0,00475	23	0,01376	16	0,00854	23
Комбинированный транспорт (N2)	0,9211	1	0,8954	1	0,9066	1	0,05552	4	0,11780	2	0,08295	2
Количество транспортных средств (QT1)	0,1709	4	0,1451	3	0,1484	4	0,02725	16	0,02687	14	0,02537	19
Производительность транспортного средства (QT2)	0,3120	1	0,5031	1	0,4145	1	0,04974	6	0,09314	3	0,07086	3
Количество перегрузочных пунктов в карьере (QT3)	0,2833	2	0,0021	4	0,1520	3	0,04516	9	0,00039	23	0,02598	18
Производительность перегрузочного пункта (QT4)	0,2337	3	0,3497	2	0,2852	2	0,03724	12	0,06474	5	0,04876	5
Расстояние транспортирования (AT1)	0,2577	3	0,3632	2	0,3012	3	0,02858	17	0,04928	8	0,03668	9
Высота подъема горной массы (AT2)	0,4301	1	0,2385	3	0,3158	2	0,04770	7	0,03235	13	0,03845	7
Объем перевозок (AT3)	0,3121	2	0,3983	1	0,3830	1	0,03462	14	0,05404	7	0,04663	6
Глубина вскрываемой части карьера (V1)	0,5073	1	0,4636	1	0,5030	1	0,04164	10	0,07525	4	0,06200	4
Ширина (сечение) выработки (V2)	0,1523	3	0,3746	2	0,2559	2	0,01250	22	0,06080	6	0,03154	15
Протяженность (уклон) выработки (V3)	0,3404	2	0,1617	3	0,2411	3	0,02793	18	0,02625	15	0,02971	16
Продолжительность формирования системы вскрытия (T1)	0,4502	1	0,2946	3	0,3596	2	0,03209	15	0,03849	11	0,03571	11
Продолжительность этапа разработки (T2)	0,3570	2	0,3726	1	0,3619	1	0,02544	19	0,04868	9	0,03594	10
Число этапов разработки (T3)	0,1928	3	0,3327	2	0,2785	3	0,01374	21	0,04347	10	0,02766	17
Капитальные затраты (E1)	0,1835	2	0,0499	3	0,1256	3	0,04552	8	0,01240	17	0,03352	14
Эксплуатационные затраты (E2)	0,1412	3	0,1384	2	0,1403	2	0,03504	13	0,03443	12	0,03743	8
Совокупный доход (E3)	0,6753	1	0,8117	1	0,7340	1	0,16755	1	0,20188	1	0,19582	1
Производительность труда (S1)	0,3551	2	0,3246	2	0,3347	2	0,05422	5	0,00153	19	0,02470	20
Условия работы персонала (S2)	0,4986	1	0,4194	1	0,4688	1	0,07614	3	0,00198	18	0,03459	12
Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования (S3)	0,1463	3	0,2560	3	0,1965	3	0,02234	20	0,00121	20	0,01450	22
Объем выбросов загрязняющих веществ (EK1)	0,6762	1	0,5988	1	0,6413	1	0,07795	2	0,00077	21	0,03378	13
Объем образующихся отходов (EK2)	0,3238	2	0,4012	2	0,3587	2	0,03733	11	0,00052	22	0,01890	21

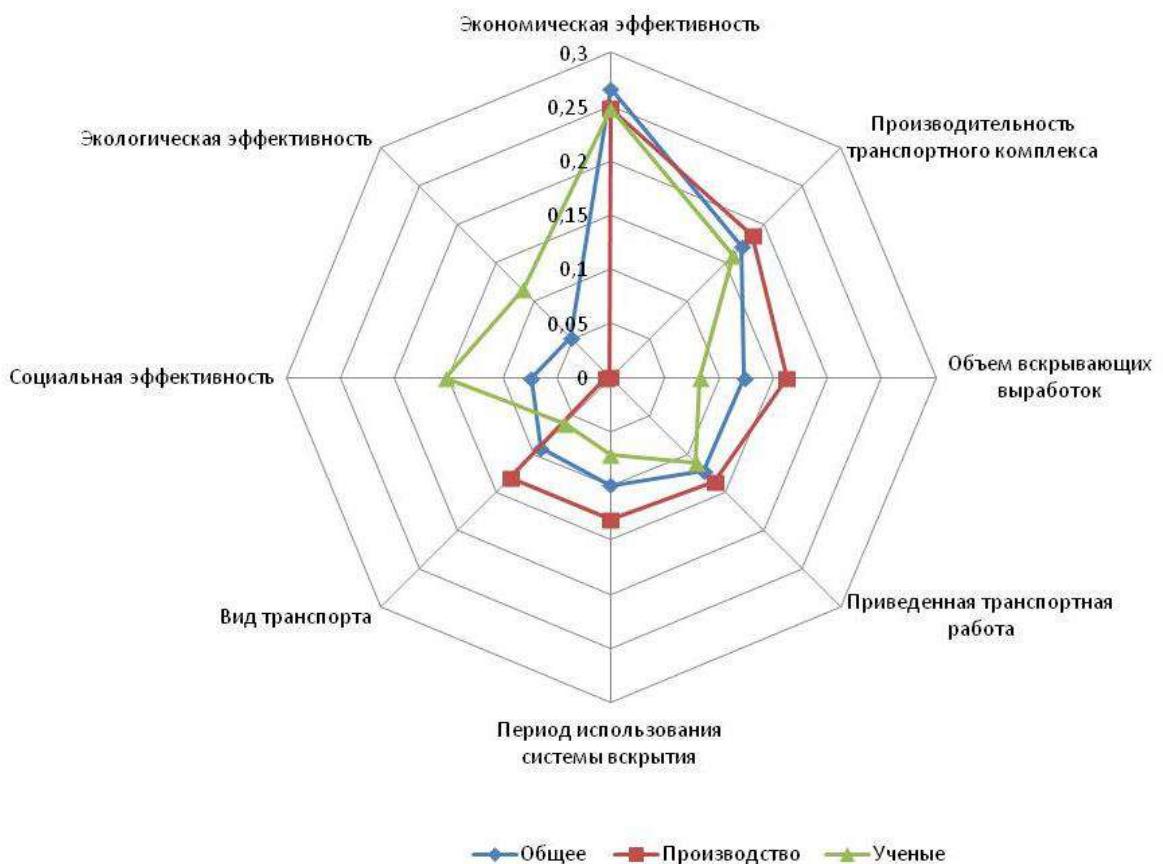


Рисунок 3.9 - Ранжирование групп параметров системы вскрытия

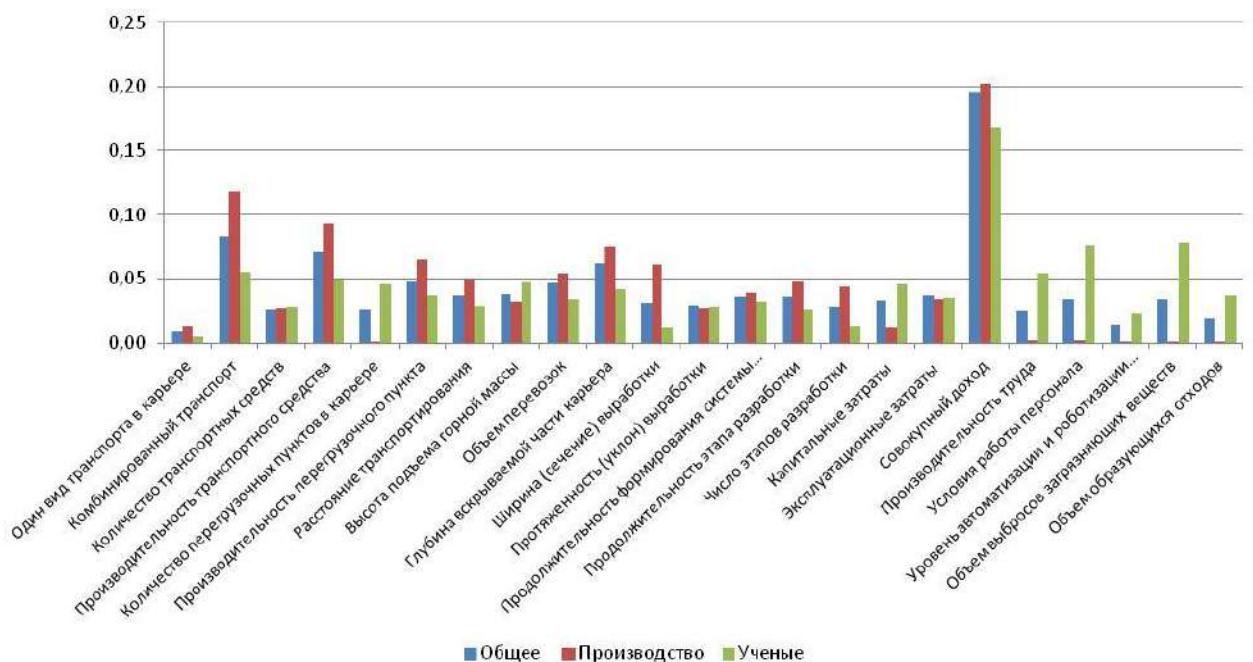


Рисунок 3.10 - Ранжирование индикаторов системы вскрытия

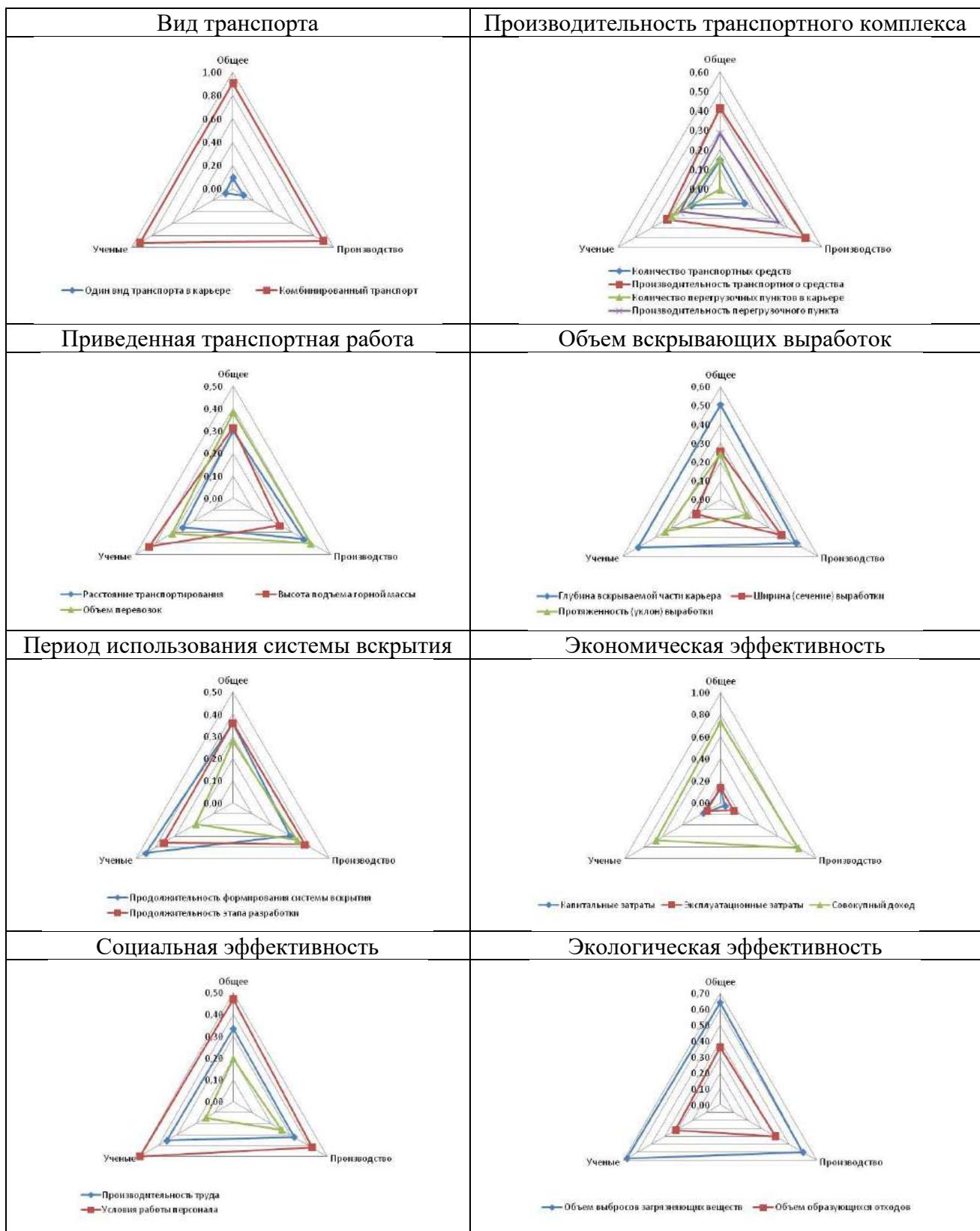


Рисунок 3.11 - Ранжирование параметров системы вскрытия

Для оценки однородности суждений эксперта необходимо использовать отклонение величины максимального собственного значения λ_{\max} от порядка

матрицы n .

Однородность суждений оценивается индексом однородности (ИО) или отношением однородности (ОО) в соответствии со следующими выражениями:

$$IO = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1),$$

$$OO = IO / M(IO),$$

где $M(IO)$ – среднее значение (математическое ожидание) индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений.

Были выполнены расчеты согласованности суждений экспертов для всех групп и параметров. Пример расчета для групп параметров представлен в табл. 3.19.

Таблица 3.19 – Пример расчета согласованности суждений экспертов для групп параметров

Вид транспорта	1,0000	0,5716	0,6678	1,3106	0,7408	0,2774	0,5252	0,9787
Производительность транспортного комплекса	1,9444	1,0000	2,1914	2,0105	2,3889	0,3519	0,8342	1,1410
Приведенная транспортная работа	1,6433	0,5396	1,0000	1,0553	2,1186	0,4429	0,7021	1,0038
Объем вскрывающих выработок	0,8911	0,6062	1,0995	1,0000	0,9863	0,4543	0,7416	1,1787
Период использования системы вскрытия	1,5449	0,5041	0,5493	1,1844	1,0000	0,4408	0,6875	0,6288
Экономическая эффективность	4,0377	3,2363	2,6250	2,5589	2,7602	1,0000	2,7651	2,4675
Социальная эффективность	2,1757	1,3865	1,6311	1,5132	1,6767	0,4342	1,0000	1,3221
Экологическая эффективность	1,1954	1,0425	1,1837	1,0008	1,8542	0,4840	0,9238	1,0000
λ_{\max}								8,76388
ИС								0,109126
ОС								0,082671

Отношение однородности 0,082671 свидетельствует о высокой согласованности мнений экспертов. Так как, согласно [55,342], значения до 0,1 и ниже соответствует высокой степени согласованности экспертов, 0,11-0,15 – выше средней и т.д.

Результаты ранжирования параметров и показателей системы вскрытия показали, что с учетом оценок академических и производственных экспертов

наиболее значимыми параметрами являются экономическая эффективность (E), производительность транспортного комплекса (QT), объем вскрывающих выработок (V), а индикаторами – совокупный доход (E3), комбинированный транспорт (N2) и производительность транспортного средства (QT2). При этом наблюдается существенный дисбаланс между оценкой академических и производственных экспертов по социальным и экологическим параметрам и индикаторам. Производственные эксперты данным параметрам и индикаторам определили наименьшую значимость. Это свидетельствует о том, что принимаемые на предприятиях решения по оптимизации системы вскрытия и горнотехнической системы направлены в первую очередь на достижение устойчивости функционирования системы, в то время как академические специалисты ориентируют свои решения на достижение целей устойчивого функционирования и развития.

Предлагаемая система параметров позволяет выполнять комплексную оценку системы вскрытия с учетом требований концепции устойчивого развития и обеспечения проектных показателей функционирования ГТС при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Для выбора стратегии устойчивого развития горнотехнической системы в переходный период необходимо дополнительно использовать многокритериальный метод принятия решений, при этом в расчетах будут использованы весовые коэффициенты и ранги, полученные методом fuzzy-АHP.

3.4 Обоснование метода принятия решения по выбору стратегии устойчивого развития ГТС

Наличие большого количества влияющих параметров, имеющих различную цель ($\rightarrow\min$, $\rightarrow\max$), сложность оценки ряда параметров количественными значениями предопределили необходимость применения комбинированных многокритериальных нечетких методов для выбора альтернативы стратегии устойчивого развития ГТС.

В горнодобывающей отрасли использование MCDM получило широкое признание как по области применения (добыча полезных ископаемых,

обогащение полезных ископаемых), так и использованию конкретных методов [337].

В работе [349] выполнен анализ применения классических MCDM (AHP, ANP, TOPSIS, PROMETHEE и ELECTRE) в горном деле по четырем основным направлениям: выбор горного оборудования, выбор способа разработки, выбор технологии разработки и выбор участка добычи. Установлено, что наиболее распространенным MCDM является AHP, а областью применения MCDM – проблеме выбора способа разработки месторождения. В обзоре [365] выделены пять основных областей использования MCDM в управлении цепочкой поставок в горнодобывающей отрасли: планирование мощности, логистика, управление запасами, сетевое проектирование, экономические вопросы. В качестве основных подходов используются AHP, ISM, DEMATEL, DEA, а также методы теории игр, математическое программирование и метаэвристические алгоритмы.

В работе [271] выполнено сравнение 10 MCDM (TOPSIS, TODIM, VIKOR, GRA, PROMETHEE, OCRA, ARAS, COPRAS, SAW, CP) при выборе способа разработки месторождений полезных ископаемых.

В [306] разработано мобильное приложение для выбора способа подземной добычи для рудника с использованием различных MCDM (TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, FMADM и PROMETHEE).

Ряд работ посвящены использованию MCDM для оценки препятствий реализации рассматриваемой модели в горнодобывающей промышленности. Для анализа барьеров в [348] используют метод AHP, а в [297] комбинированный ISM-DEMATEL метод.

В [346] представлена интеграция проектного мышления и MCDA для устойчивого развития горнодобывающей промышленности. В [299] исследуются движущие силы внедрения корпоративной социальной ответственности для устойчивого развития горнодобывающей промышленности с применением MCDM.

На основе анализа использования методов для решения различных задач для горнодобывающей отрасли в работе рассмотрены 10 наиболее распространенных MCDM методов, характеристика которых представлена в табл. 3.19.

Таблица 3.19 - Характеристика многокритериальных методов принятия решения (MCDM)

Акроним метода	Полное название метода	Год	Авторы	Источник
SAW	Simple Additive Weighting	1954	С. Черчман и др.	[354]
TOPSIS	Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution	1981	К.Л. Хван и К. Юн	[280]
COPRAS	COmplex PROportional Assessment	1994	Э. Завадскас и др.	[304]
MOORA	Multi-Objective Optimization On The Basis of Ratio Analysis	2006	В. Брауэрс и Э. Завадскас	[362]
ARAS	Additive Ratio Assessment	2010		
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment	2012	Э. Завадскас и др.	[275]
MAIRCA	MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis	2014	Д. Памукар и др.	[363]
EDAS	The Evaluation based on Distance from Average Solution	2015	М. Горабай и др.	[364]
MABAC	Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison	2015	Д. Памукар и др.	[327]
MARCOS	Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution	2020	Ж. Стевич и др.	[309]

В ходе выполнения исследований были апробированы различные методы [42,43]. Для дальнейших исследований был выбран метод MARCOS. Данный метод был предложен Ž. Stević, D.Pamučar [354] и является самым современным из всех рассматриваемых методов, в расчетной методике которого устраниены многие недостатки ранее разработанных методов. Метод основан на определении отношения между альтернативами и эталонными значениями (идеальные и анти-идеальные альтернативы). На основе определенных отношений определяются функции полезности альтернатив и составляется компромиссное ранжирование по отношению к идеальным и антиидеальным решениям. Предпочтения в принятии решений определяются на основе функций полезности. Функции полезности представляют собой альтернативу идеальному и антиидеальному решению. Лучшая альтернатива - та, которая ближе всего к идеалу и в то же время самая дальняя от антиидеальной точки отсчета. Блок-схема расчета рангового критерия с использованием предлагаемых методов представлен на рис. 3.12.

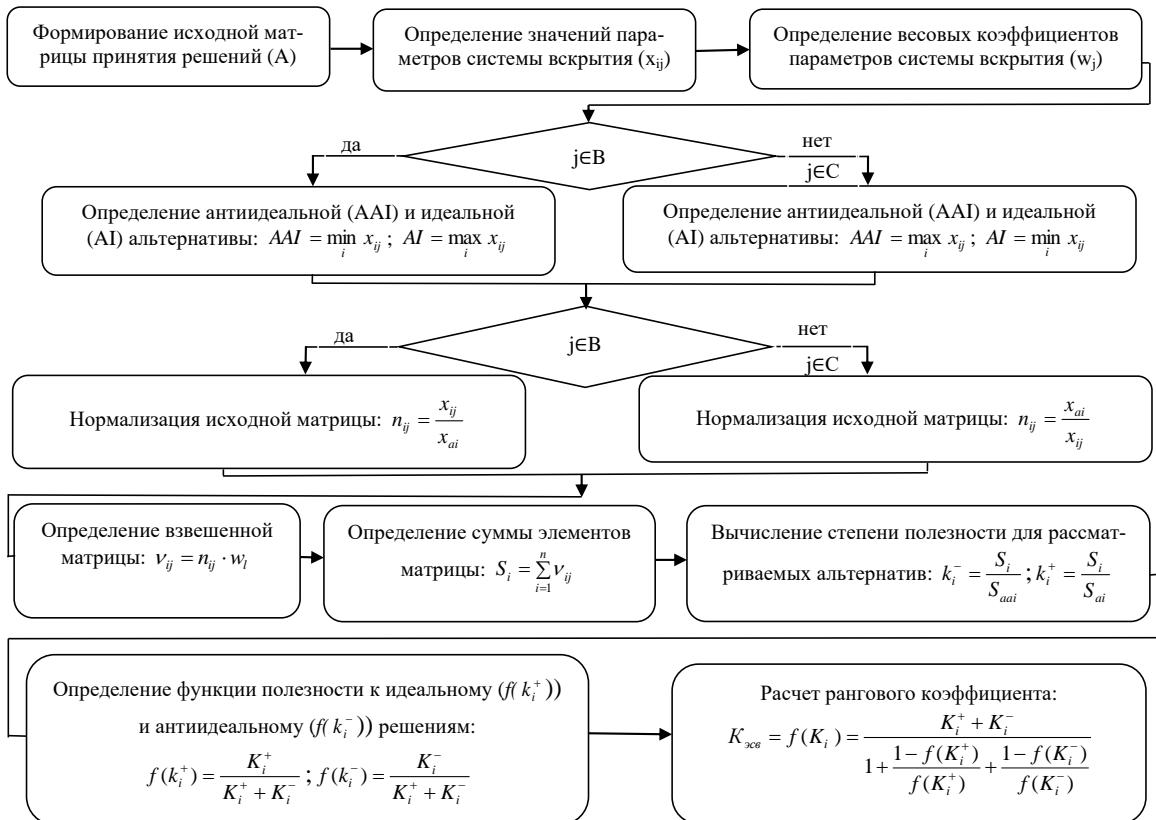


Рисунок 3.12 – Блок-схема расчета рангового коэффициента

Основными достоинством метода являются: рассмотрение антиидеального и идеального решения в самом начале формирования исходной матрицы, более точное определение степени полезности по отношению к обоим решениям, предложение нового пути к определению функций полезности и их агрегирования, возможность рассмотрения большого набора критериев и альтернатив при сохранении устойчивости метода, что актуально для проводимых исследований, т.к. рассматривается 23 оцениваемых параметра и 4 итоговые альтернативы стратегий. Значения рангового коэффициента позволяют оценивать устойчивость функционирования горнорудного предприятия, наибольшие значения соответствуют наибольшей устойчивости.

В п.6.3 диссертации на конкретном примере выбора стратегии развития произведено сравнение выбранного метода с другими наиболее распространенными методами представленными в табл. 3.5. Выполнен анализ чувствительности результатов, полученных с помощью метода MARCOS. На основании выполненных расчетов был сделан вывод, что модель fuzzy AHP-MARCOS не приводит к изменению ранга среди альтернатив, что подтверждает надежность и точность

ранжирования альтернатив в динамической среде выбранным методом.

Выводы

- систематизированы принципы устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды, обеспечивающие согласование экономических целей с целями в области социального развития горнодобывающего предприятия и охраны окружающей среды. Существующие принципы проектирования и развития горного производства систем сгруппированы в соответствии с уровнями управления ГДП и ГТС в четыре группы: общесистемные принципы управления, принципы развития ГДП, принципы развития ГТС, принципы развития подсистем ГТС. Такой подход позволяют осуществлять реализацию принципов на всех этапах проектирования и эксплуатации ГДП, учитывая экономические, социальные и экологические аспекты функционирования ГДП;

- выполненный анализ существующих принципов показал, что в настоящее время отсутствует универсальная система принципов устойчивого развития ГТС и ее подсистем, а большинство известных принципов направлены на системы более высокого уровня: горнодобывающее предприятие и выше – 49 %, горнотехническая система – 38 % и подсистемы ГТС – 13 %- определено, что сложность оценки функционирования ГТС и системы вскрытия заключается в недостаточно исследованных взаимосвязях показателей и параметров подсистем ГТС, а также в отсутствии методик комплексной оценки множества параметров и показателей системы вскрытия и её элементов;

- систематизированы параметры системы вскрытия. В основу систематизации положен функциональный подход с выделением пяти групп факторов: технические, технологические, экономические, социальные и экологические. Предложена двухуровневая оценка факторов с использованием 8 групп параметров и 23 параметров и показателей. Первый уровень иерархии учитывает параметры оценки системы вскрытия при взаимодействии с ГТС и внешней средой. Ко второму уровню иерархии отнесены специфические параметры функционирования системы вскрытия. Для ранжирования параметров обосновано использование метода fuzzy АНР;

- произведено ранжирование параметров системы вскрытия, которое показало, что наиболее значимыми группами параметров являются экономическая эффективность, производительность транспортного комплекса, социальная

эффективность и экологическая эффективность, а параметрами – совокупный доход, объем выбросов загрязняющих веществ и условия работы персонала. Это свидетельствует о том, что принятие решений о развитии ГТС и системы вскрытия должно основываться на комплексной оценке данных систем с учетом экономических, экологических и социальных аспектов устойчивого развития. Дисбаланс в сторону экономических показателей без учета экологических и социальных показателей при принятии решений приводит к тому, что ни предприятие в целом, ни его подсистемы, не будут устойчиво функционировать и развиваться;

- обосновано, что оценку системы вскрытия необходимо осуществлять на основе предлагаемого комплексного критерия эффективности, представленного ранговым коэффициентом, учитывающим: вид карьерного транспорта, глубину ведения горных работ, продолжительность этапа вскрытия, объемы вскрывающих выработок, затраты на формирование и эксплуатацию системы вскрытия, социальную и экологическую эффективность рассматриваемых вариантов, а также вес и целевые функции каждого учитываемого параметра. Использование предлагаемого критерия позволяет при близких экономических значениях параметров сравниваемых вариантов учитывать дополнительные факторы, которые могут оказывать определяющее влияние на проектное решение для данного этапа;

- определено, что наилучшие значения по технологическим, экономическим, экологическим и социальным параметрам системы вскрытия, при производстве горных работ на глубоких горизонтах рудных месторождений, могут быть достигнуты при расширении области использования системы вскрытия с карьерными подъемниками путем эффективной реализации циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования горных пород не только на текущем, но и на последующем этапе разработки;

- определены основные возможные стратегии развития, в которых укрупненно систематизированы геотехнологические решения по обеспечению устойчивого функционирования горнорудных предприятий: изменение параметров текущего этапа разработки, переход на новый этап ОГР, переход на открыто-подземный способ разработки. Для принятия решения по выбору стратегии устойчивого функционирования и развития предложено использовать комбинированный многокритериальный метод fuzzy АНР-MARCOS.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ КАРЬЕРОВ

4.1 Обоснование основных параметров этапа вскрытия при освоении за- пасов глубоких горизонтов

Определенная система вскрытия используется в течение некоторого периода функционирования горнотехнической системы. Она реализуется на каждом этапе горных работ в конкретных природных и организационных условиях одним, двумя или комбинацией способов вскрытия рабочих горизонтов карьера.

В большинстве случаев, чем глубже становится карьер, тем ниже производительность транспортных средств. Производительность транспортных машин цикличного действия снижается с глубиной из-за увеличения расстояния транспортирования, уменьшения скоростей движения.

Как отмечалось выше, на современном этапе развития техники для открытых горных работ при благоприятных горнотехнических условиях экономически и технически возможна разработка месторождений открытым способом до глубины 700-1000 м и более. Увеличение глубины неизбежно сказывается на увеличении и других параметров карьеров. Рост глубины вызывает необходимость разноса бортов, изменение углов откосов бортов карьера, которые определяются углами откоса уступов, а также шириной площадок различного назначения.

Необходимость дополнительного разноса бортов определяется также в зависимости от параметров принятого вида и типа транспорта. Различная ширина транспортных берм влияет на конструкцию нерабочего борта карьера, а допустимые уклоны для каждого из видов транспорта влияют на длину транспортных коммуникаций, определяя длину капитальных траншей.

Помимо уменьшения объемов горно-капитальных и вскрышных работ сокращение длины транспортных коммуникаций снижает расходы на транспортировку горной массы на поверхность.

Крупные крутопадающие месторождения, как отмечалось в главе 2, разрабатываются этапами. Переходу на каждый последующий этап разработки

месторождения предшествует сбор и уточнение необходимых данных.

Отработка месторождений этапами на некоторых карьерах предусматривается на стадии разработки ТЭО и проектов первой очереди. Таким примером являются карьеры на месторождениях Наталка, Удоканское, Олимпиадинское и др. В течение отработки первого этапа уточняются горно-геологические и горнотехнические условия разработки, также это позволяет регулировать календарный график вскрышных работ в течение всего срока разработки месторождения.

Эффективность функционирования горнотехнической системы в течение этапа отработки в первую очередь будет определяться затратами на вскрышные работы, которые зависят от общих и текущих объемов вскрышных пород, вынимаемых из карьера и затрат на транспорт вскрыши. В главе 2 отмечалось, что вопросы оптимизации затрат на вскрышные работы должны рассматриваться комплексно при обосновании системы вскрытия. В данном разделе рассматривается взаимосвязь параметров этапов вскрытия с параметрами текущих этапов открытых горных работ и при переходе с одного этапа разработки на другой. О важности планирования транспортной работы при отработке месторождений этапами отмечается также в исследованиях [167].

Автором был произведен анализ развития теории и практики разработки месторождений этапами, который подробно изложен в [60].

Этапная разработка крутопадающих месторождений подразумевает использование временно-нерабочих бортов (ВНБ). Выделение этапов, с этой точки зрения, позволяет увеличивать результирующий угол рабочего борта и позволяет перенести часть объемов вскрыши на более поздние годы отработки. Также разработка глубоких карьеров этапами с использованием ВНБ позволяет снизить эксплуатационный коэффициент вскрыши в начальный период работы карьера, регулировать значения среднего коэффициента вскрыши на каждом отдельном этапе и исключить пиковые значения выемки объемов вскрышных пород в календарном графике [30, 61, 132, 219, 224].

Основными параметрами этапа разработки месторождения являются: продолжительность этапа, глубина этапа, углы наклона рабочего и временно-нерабочего бортов карьера, период на который формируется ВНБ, производительность по вскрыше и по полезному ископаемому в пределах этапа, средний и

текущий коэффициенты вскрыши в пределах этапа разработки.

Этапы вскрытия характеризуются параметрами вскрывающих выработок и конструкций, видом и моделями применяемых транспортных средств, продолжительностью эксплуатации в неизменном виде. Изменение параметров системы вскрытия определяют начало очередного этапа вскрытия. Этапы разработки и этапы вскрытия взаимосвязаны. Однако, продолжительность этапа вскрытия может совпадать с продолжительностью этапа разработки, а также может и отличаться. Причем в течение одного этапа разработки может проходить несколько этапов вскрытия, при этом один этап вскрытия может длиться в течение нескольких этапов разработки.

Из перечисленных параметров этапа разработки не все являются гибко регулируемыми. Такой параметр, как производительность по полезному ископаемому, как правило, задается в качестве исходных данных. Продолжительность этапа и глубина этапа взаимосвязаны. Углы наклона рабочего и временно-нерабочего бортов карьера, производительность по вскрыше в пределах этапа, средний и текущий коэффициенты вскрыши в пределах этапа разработки также связаны между собой. Причем производительность по вскрыше больше представляет собой итоговый показатель, который будет установлен после обоснования углов бортов и, соответственно, коэффициентов вскрыши. Период, на который формируется ВНБ, будет определяться условиями развития рабочей зоны – динамикой отработки.

Применение технологии этапной разработки с ВНБ применимо в первую очередь на крутопадающих месторождениях малой и средней мощности, на которых высокие значения среднего и текущего коэффициентов вскрыши, которые могут достигать $15 \text{ м}^3/\text{т}$ и более. Однако для целого класса современных и перспективных осваиваемых рудных месторождений с низким содержанием полезного компонента, которые разрабатываются высоко динамичными карьерами с высокой производительности по полезному ископаемому, формирование ВНБ не представляется возможным. Это вызвано тем, что для обеспечения проектной производительности в несколько десятков тонн необходимо задействовать большую часть рудной площади и высокие скорости подвигания фронтов горных работ. Малая ценность разрабатываемых руд предполагает гибкое регулирование

затрат на производство горных работ и эффективность разработки таких месторождений во многом определяется развитием схем ЦПТ доставки горной массы на поверхность. Одним из представителей такого рода месторождений является Михеевское, на котором осуществляется добыча медно-порфировых руд. Разведанные запасы данного месторождения превышают 880,0 млн т., что делает его значимым не только для экономики региона, но и для отрасли в целом. Особенностью месторождений данного типа является также то, что вмещающие породы часто представлены аналогичными балансовым рудам, но с более низким содержанием полезного компонента. Поэтому при организации усреднительных складов в карьере возможное примешивание вскрышных пород не представляется серьезным разубоживанием руд. Характерный геологический разрез месторождения представлен на рис 4.1.

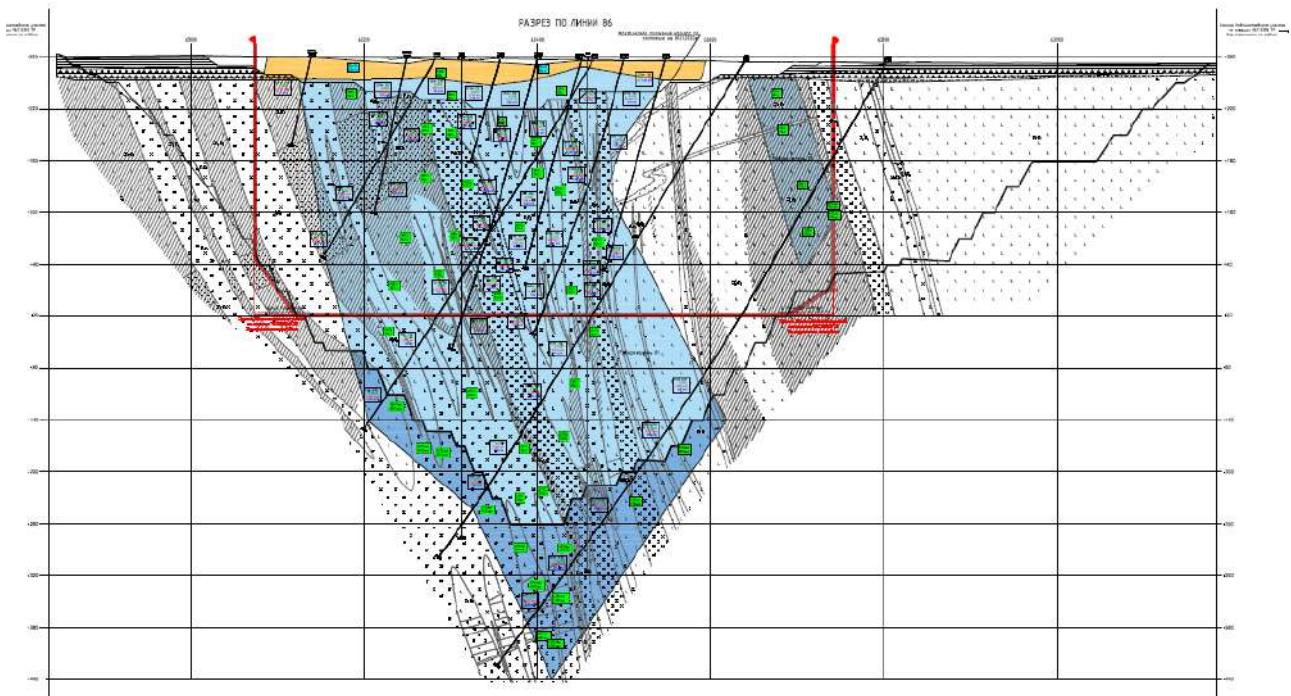


Рисунок 4.1 – Геологический разрез Михеевского месторождения

Таким образом, в современных условиях высокопроизводительных карьеров, характеризующихся высокой динамикой развития рабочей зоны, формировать временно-нерабочие борта карьеров по классическим решениям – с продолжительностью консервации вскрышных пород до 10 лет и иногда более, практически невозможно. Данные технологические решения осложняют развитие схемы вскрытия карьера, особенно в условиях применения ЦПТ. Эффективность

горных работ в таких условиях обеспечивается выбором последовательности отработки месторождения, позволяющей развивать схемы ЦПТ, что ведет к снижению доли транспортной работы, выполняемой автомобильным транспортом и, соответственно, текущих затрат на транспортирование вскрышных пород. Взаимоувязка данных решений рассматривается в структуре системы вскрытия.

Приведенные в таблице 1.1 диссертации примеры карьеров, на которых ежегодно добываются десятки миллионов тонн полезного ископаемого и сотни миллионов тонн вскрышных пород, предполагают высокую динамику развития рабочей зоны. Для условий таких карьеров сформировать ВНБ на продолжительный период часто не представляется возможным, хотя влияние временного фактора на эффективность использования технологии с временно-нерабочими бортами существенное. Равномерное подвигание рабочей зоны приводит к тому, что в одновременной разработке оказывается количество уступов, в несколько раз превышающее количество выемочно-погрузочного оборудования в карьере, что существенно осложняет организацию добычных работ. Исследование влияния фактора времени и конструкции бортов карьеров на возможность изменения параметров системы вскрытия было выполнено для условий Михеевского карьера. Условия Михеевского карьера являются схожими со многими современными и перспективными карьерами, разрабатывающими сырье с низким содержанием полезного компонента: Томинским, Калининским, Удоканским, Ак-Суг, Малмыжским и др. Были рассмотрены различные варианты формирования ВНБ в рабочей зоне карьера (рис. 4.2 а, б, в).

Средний и текущий коэффициенты вскрыши являются важными параметрами этапов разработки влияющие на эффективность функционирования горнотехнической системы. Все рассмотренные на рис. 4.3 варианты не предполагают длительные сроки формирования ВНБ, но при этом позволяют регулировать значения текущего коэффициента вскрыши по годам разработки. Борт находится в постоянной расконсервации для обеспечения высокой производительности по руде.

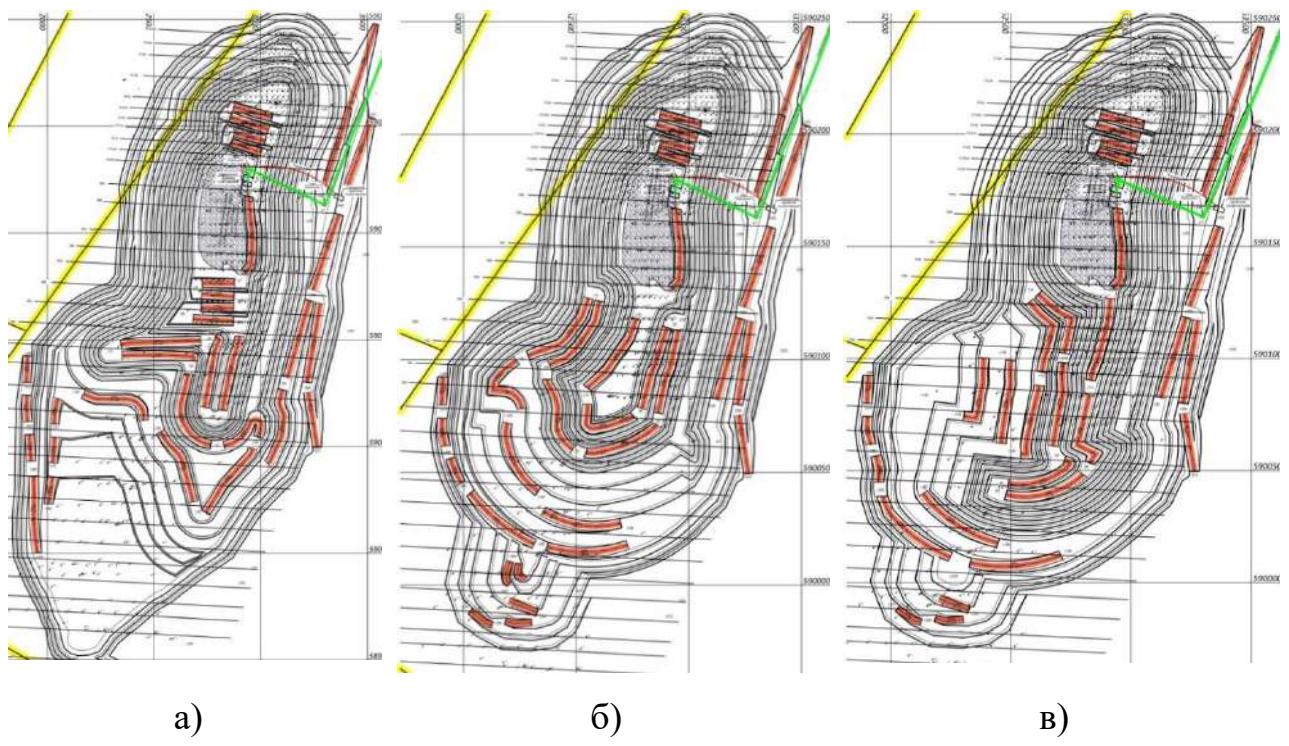


Рисунок 4.2 – Варианты формирования ВНБ на Михеевском карьере

Гистограмма изменения среднего коэффициента вскрыши по рассмотренным вариантам и по периодам отображена на рис.4.3.

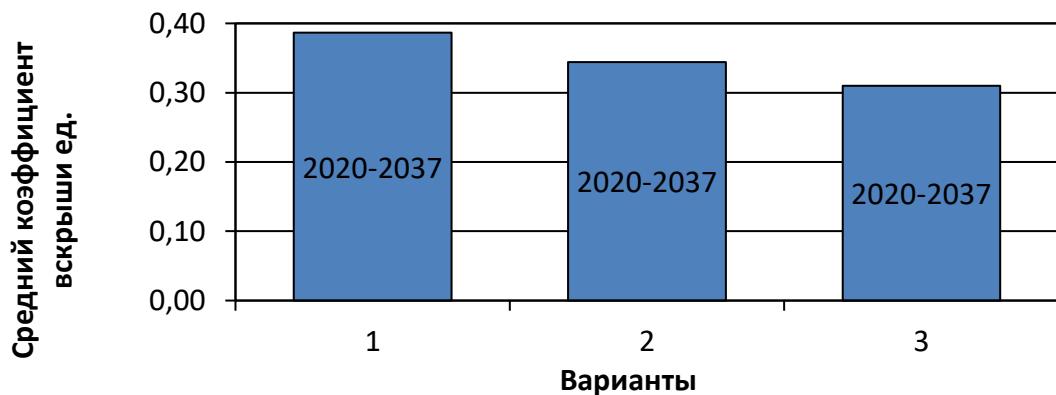


Рисунок 4.3 – Гистограмма изменения среднего коэффициента вскрыши по вариантам и по периодам

Использование данной технологии позволяет сократить текущий коэффициент вскрыши, так как разница в значениях коэффициента вскрыши по рассмотренным вариантам составляет более 20%. Однако такая технология может быть применена, когда северный борт карьера уже находится в предельном положении и подвигание уступов осуществляется в южном направлении с одновременным постепенным погашением восточного и западного бортов карьера. Это

приводит к существенному усложнению горных работ, т.к. борт карьера на протяжении всего добычного фронта находится в постоянной постановке уступов в нерабочее положение и расконсервации. При таких условиях горнотехническая система является не устойчивой и не способна реагировать на изменения внешних факторов. На Михеевском карьере реализуется циклично-поточная технология (ЦПТ), которая предполагается на различных этапах на большинстве схожих по горнотехническим условиям современных и перспективных карьеров. Перегрузочный пункт на Михеевском карьере расположен на глубине 60 м. По конвейеру транспортируется руда на обогатительную фабрику. С увеличением глубины ведения горных работ доля автотранспортной работы будет стремительно увеличиваться и, соответственно, эффективность ЦПТ также стремительно снижаться, т.к. доля конвейерной доставки в общих объемах перемещаемой горной массы становится низкой и не превысит 20% (рис. 4.4).

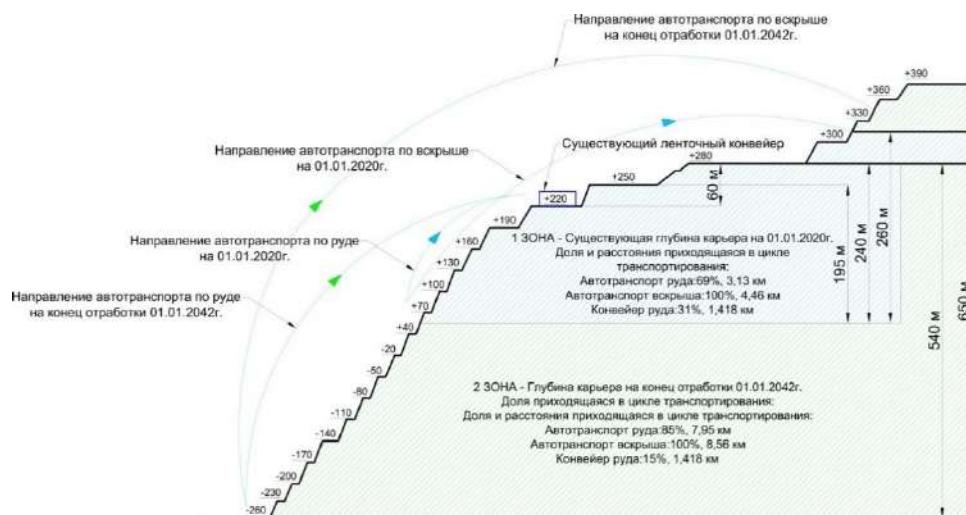


Рисунок 4.4 – Схема транспортирования горной массы на Михеевском карьере

Для повышения эффективности ЦПТ необходимо развитие поточного транспорта путем переноса перегрузочных пунктов по мере развития горных работ. Для определения целесообразного шага переноса, соответствующего этапу вскрытия, были выполнены расчеты величины приведенной транспортной работы на основе обработки данных хронометражных наблюдений и информации систем диспетчеризации АСУП. При этом учитывалось, что самосвалы, доставляющую руду к дробильно-конвейерному перегрузочному пункту (ДКК) с

разных горизонтов направляются груженными как на подъем, так и на спуск, соответственно порожними – в обратном направлении. Величина транспортной работы, выполняемой автотранспортом, определяет эффективность ЦПТ в целом. В результате расчетов была получена зависимость, представленная на рис. 4.5, на которой видно, что целесообразный шаг переноса ДКК находится в диапазоне глубин 170-200 м. Зависимость получена для условий использования автосамосвалов грузоподъемностью 91 т (Komatsu HD785), 186 т (Komatsu HD 730E) и 231 т (Komatsu HD 830E), что соответствует современной тенденции формирования транспортных комплексов на глубоких карьерах. Продолжительность функционирования системы вскрытия до переноса перегрузочного пункта соответствует продолжительности этапа вскрытия.

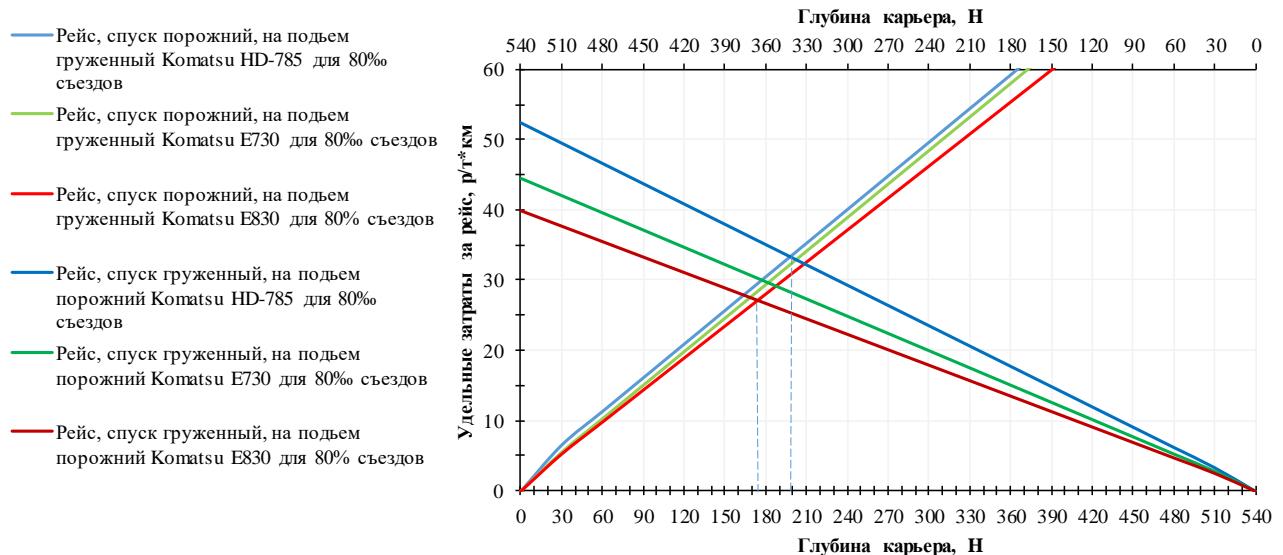


Рисунок 4.5 – График изменения транспортной работы при доставке горной массы к ДКК для определения шага передвижки перегрузочного пункта

В таких условиях параметры этапов вскрытия должны учитывать возможность развития ЦПТ, для этого потребуется корректировать направление и динамику развития горных работ с учетом необходимости ускоренной отработки участков бортов карьера, перспективных для размещения карьерных подъемников и площадок перегрузочных пунктов.

4.2 Обоснование параметров этапа вскрытия при развитии циклично-поступательной технологии транспортирования

Как рассматривалось ранее, система вскрытия формируется постоянно в течение всего периода разработки глубоких крутопадающих месторождений и заканчивается фактически в момент затухания горных работ или окончания разработки месторождения. Динамика формирования системы вскрытия может отличаться в различные периоды и этапы разработки месторождения. Наиболее интенсивно система вскрытия формируется или трансформируется в переходные периоды, так как этот промежуток времени ограничен, и от интенсивности преобразования системы вскрытия во многом будет определяться его продолжительность.

В период развития горных работ при равномерном формировании рабочей зоны в карьере в определенный промежуток времени количество рабочих уступов может возрасти до 23 (рис. 4.6 а). Невозможность формирования ВНБ в таких условиях осложняется отсутствием альтернативных вариантов размещения схемы вскрытия для создания транспортного доступа на все горизонты карьера. Такое количество рабочих уступов практически в 4 раза превышает количество экскаваторов, применяемых в карьере. Также в данный период, фактически складывается такая ситуация, что при добыче руды в течение года на 4-6 уступах, необходимо поддерживать в работе 27 временных съездов и 14 капитальных сдвоенных съездов. Такие условия складываются во многом из-за наличия в карьере конвейера и необходимости развивать ЦПТ в пространстве и во времени. Рассматривалась возможность развития рудного конвейера путем увеличения его протяженности и перемещения перегрузочного пункта глубже, а также реализация ЦПТ для перемещения вскрышных пород (рис.4.6). Соответственно, на участке борта карьера, на котором предполагается размещение конвейера с опережением, должны погашаться уступы. Развитие циклично-поточной технологии в таких карьерах позволит увеличить долю перевозки пород конвейером, сократить общую транспортную работу, снизить затраты на вскрышные работы. Для сокращения количества рабочих площадок и увеличения концентрации горных работ был рассмотрен вариант перехода на высокоуступную технологию, путем сдавивания рабочих уступов во вскрышной зоне. Возможность сдавивания уступов в обычной зоне зависит от строения рудного тела на разрабатываемых участках. Для условий мощных рудных тел, аналогичных представленным на

рис. 4.1 сдваивание добычных уступов не приведет к разубоживанию руды, в условиях более сложного строения рудных тел отработка сдвоенных уступов в рудной зоне может осуществляться послойно, взрыванием и отработкой каждого слоя равного высоте рабочего уступа. Это позволяет в два раза сократить количество уступов, одновременно находящихся в разработке (рис. 4.6 б).

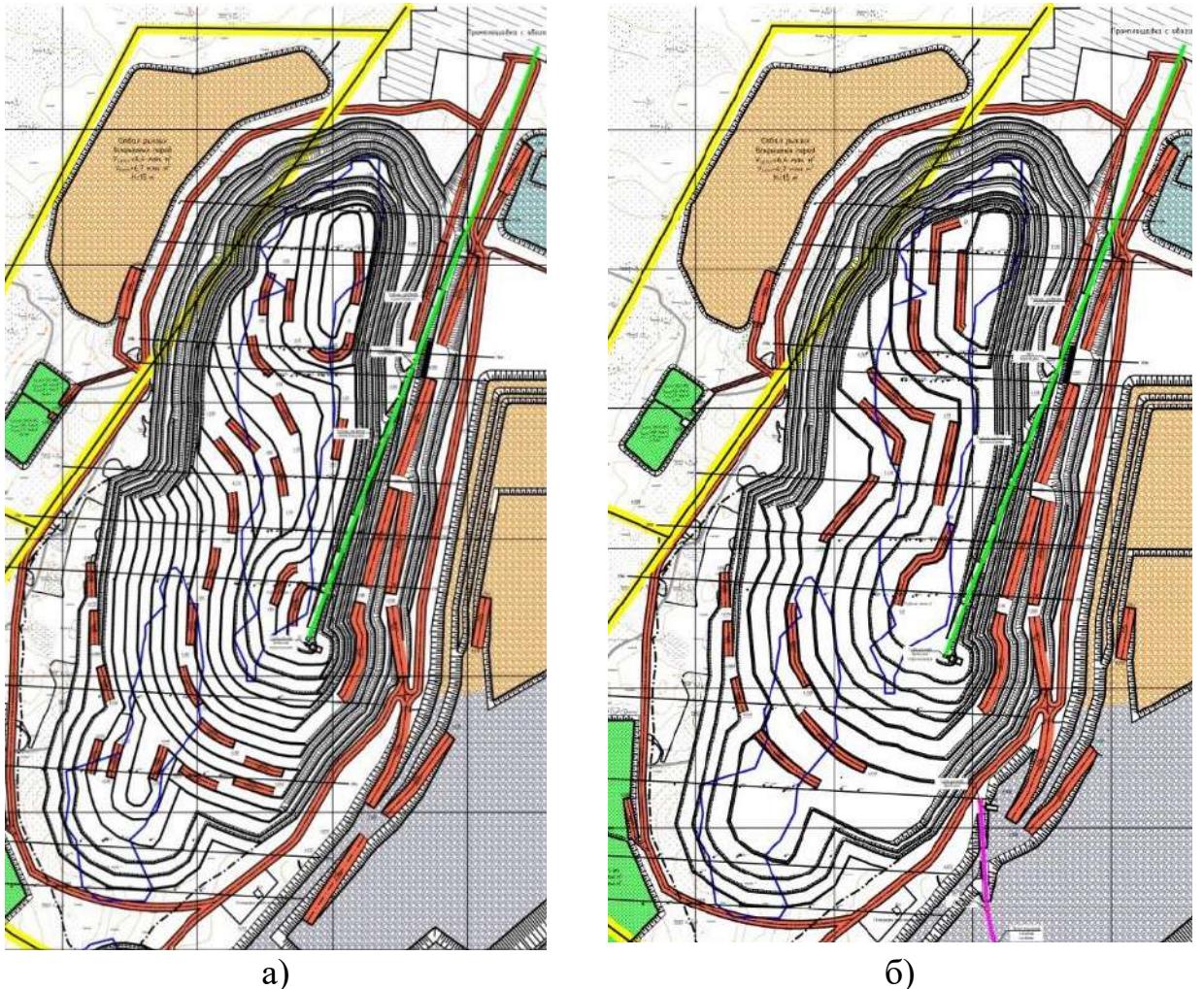


Рисунок 4.6 – Варианты развития горных работ в карьере: а – рабочие уступы высотой 15 м; б – сдвоенные рабочие уступы, высотой 30 м

Особенностям технологии производства горных работ высокими уступами посвящено значительное количество трудов. Одним из последних обобщающих и расширяющих возможность такой технологии является диссертация Федотенко В.С. [222]. Переход на отработку высокими уступами, согласно [222], дает ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционной технологией. Для условий Михеевского карьера такая технология позволяет разместить и развивать схему вскрытия таким образом, что на каждом уступе остается достаточно протяженности фронта для размещения взрываемых блоков без необходимости

переноса съездов. Также данные решения позволяют достичнуть основную цель отработки этапа месторождения – обеспечение заданной проектом производительности по руде при минимальном обоснованном среднем и текущем коэффициенте вскрыши.

Предлагается два варианта технологических схем отработки сдвоенных рабочих уступов: первый вариант предполагает разделение уступа и развала на подуступы (рис. 4.7 а), что является классическим вариантом при применении гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата»; второй вариант предполагает технологию взрывания с понижением высоты развала использованием наклонных скважин и увеличением удельного расхода ВВ с дальнейшей отработкой развала на полную высоту (рис. 4.7 б).

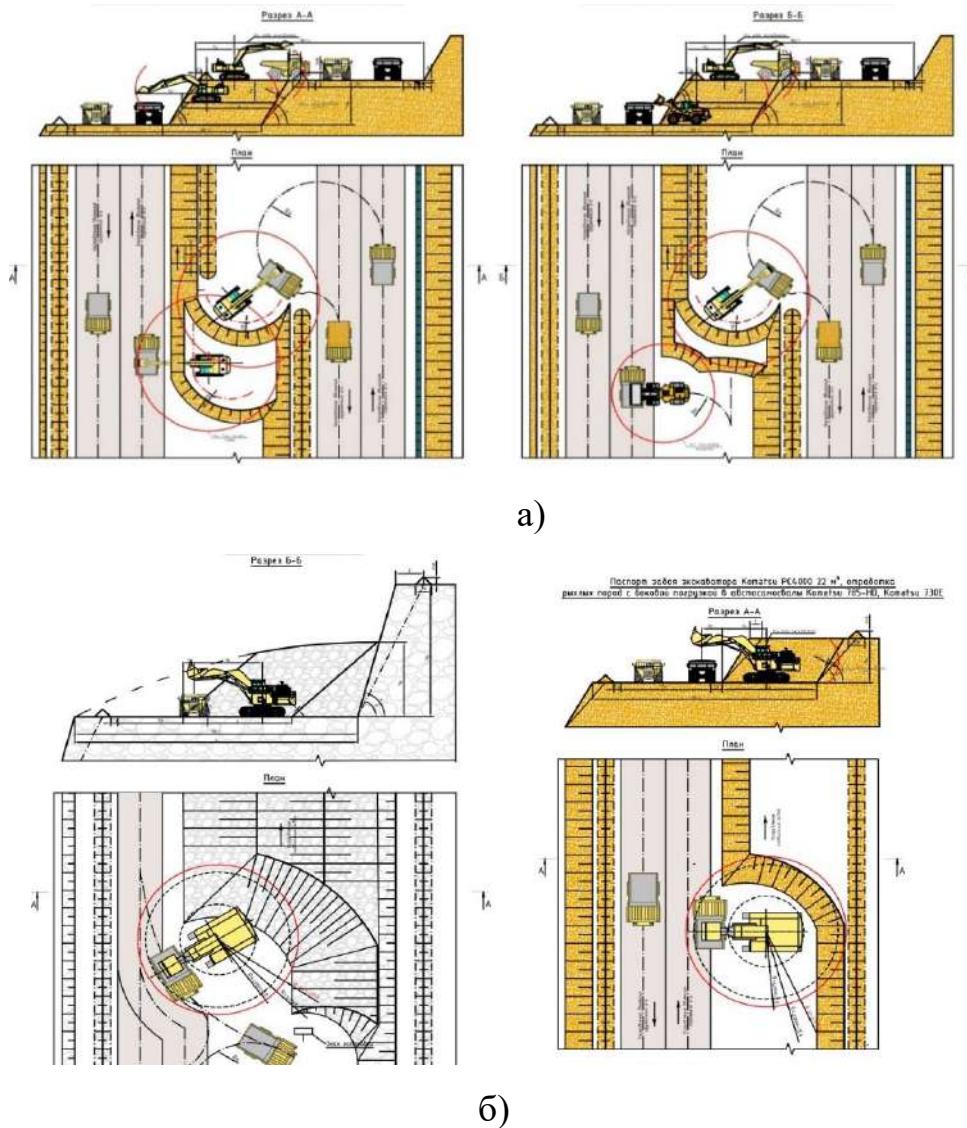


Рисунок 4.7 – Варианты технологических схем отработки высоких уступов

Были рассмотрены 6 возможных вариантов развития ГТС и системы

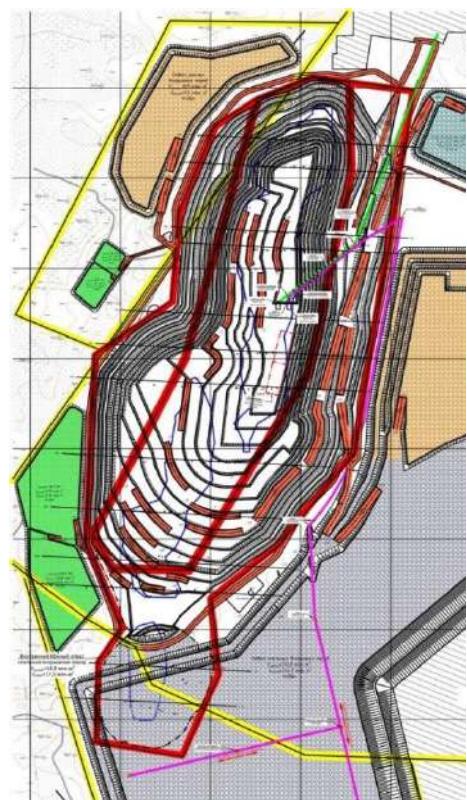
вскрытия: первый вариант предполагал использование только автомобильного транспорта и рассматривался как сравнительный, по отношению к которому оценивались остальные варианты; второй вариант – развитие по существующему проекту; 3 вариант – изменение направления горных работ для постановки части восточного борта в предельное положение и развития конвейера, транспортирующего полезное ископаемое, путем строительства дополнительной круто-наклонной секции подъемника (рис. 4.8 а); вариант 4 – также, как вариант 3 предполагает изменение направления развития фронта работ и развитие добычного конвейера с параллельным размещением на данном участке борта карьера породного конвейера (рис. 4.8 б); вариант 5 предполагает развитие наклонного конвейера в продолжение к существующему, этот вариант размещения конвейера соответствует проектному, однако принятное направление развития горных работ и технологии формирования и отработки уступов позволяет на срок до 5 лет ускорить начало работы конвейера (рис. 4.8 в); 6 вариант отличается от пятого наличием породного конвейера с перегрузочным пунктом на поверхности (рис. 4.8 г). Для всех рассматриваемых вариантах на горизонтах переноса перегрузочных пунктов предполагалось обустройство усреднительных складов.

Отработка Михеевского месторождения предполагается в несколько этапов, т.к. при имеющихся запасах и принятой производительности срок отработки составит более 30 лет. Особенностью предлагаемой технологии является развитие ЦПТ не только на текущий этап отработки, но и на перспективный последующий этап. Так даже при изменении технологии отработки уступов и развития горных работ в карьере минимальный срок до начала внедрения линии развития ЦПТ по рассматриваемым вариантам составляет 9-10 лет. При этом данный срок на 5-7 лет раньше, чем равномерное развитие и подвигание фронта работ на карьере.

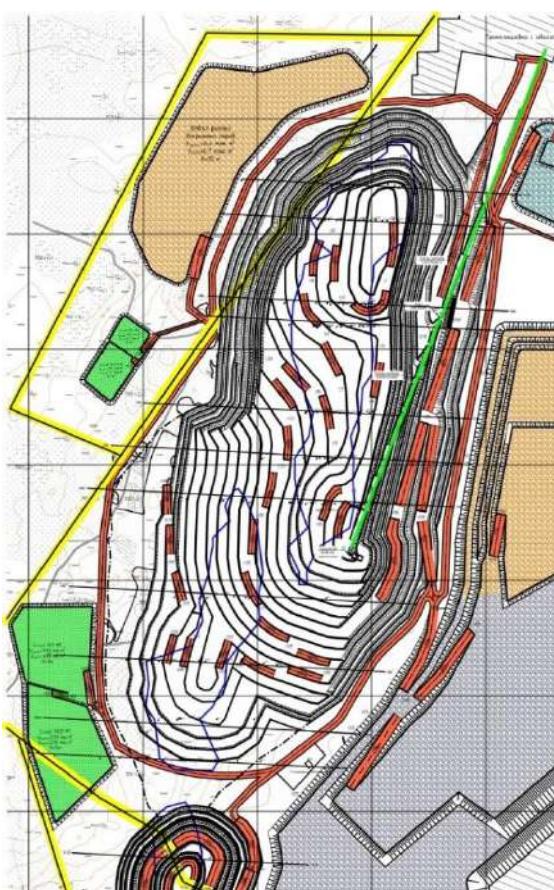
Для всех рассматриваемых вариантов были определены параметры системы вскрытия (рис. 4.9 -4.14). Выполненные исследования показывают, что для предлагаемых вариантов развития ЦПТ приведенная транспортная работа более стабильна по годам и имеет меньшие средние значения за счет снижения транспортной работы, производимой автомобильным транспортом, что положительно влияет на устойчивость функционирования горнотехнической системы.



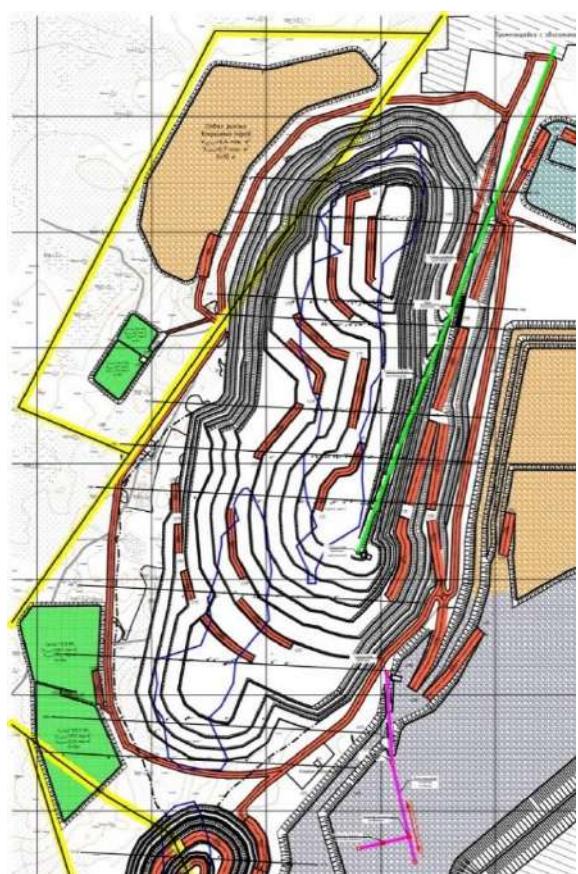
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.8 – Рассматриваемые варианты развития горных работ в карьере

Значительными параметрами текущего и нового этапа разработки, также определяющими эффективность и устойчивость функционирования горнотехнической системы для высокопроизводительных карьеров, являются средний и текущий коэффициенты вскрыши в течение этапа. Регулируя значения коэффициентов вскрыши предприятие сохраняет свою устойчивость в изменяющейся рыночной среде. Величина коэффициентов вскрыши определяется параметрами формируемых бортов карьера: рабочего, временно-нерабочего и нерабочего. Достижение минимальных значений коэффициентов вскрыши должно взаимоувязываться с возможностью размещения на бортах карьера элементов системы вскрытия.

При разработке вариантов развития горных работ путем перехода на высокуюступную технологию позволило даже при изменении направления подвигания фронта и более интенсивной отработки отдельных вскрышных участков обеспечить более равномерное распределение объемов вскрышных пород и текущего коэффициента вскрыши по годам при обеспечении проектной производительности по руде (рис. 4.15 б, в) по сравнению с базовыми вариантами (рис. 4.15 а). Стабильные значения текущего коэффициента вскрыши позволяют обеспечить постоянное количество горнотранспортного оборудования в карьере и лучшие экономические показатели не только в текущем, но и последующем этапе разработки.

Реализация данных технологических схем не исключает использование карьерных автосамосвалов и систем наклонных траншей. От выбора моделей автосамосвалов и параметров вскрывающих выработок также во многом зависит эффективность реализуемых решений по изменению системы вскрытия. Рассмотренные выше на примере Михеевского карьера решения применимы в первую очередь для условий вытянутых карьеров, для карьеров, имеющих окружную форму в плане параметры автотранспорта будут играть большую роль. А развитие схем с ЦПТ будет иметь более продолжительные временные отрезки до окончания переходных периодов.

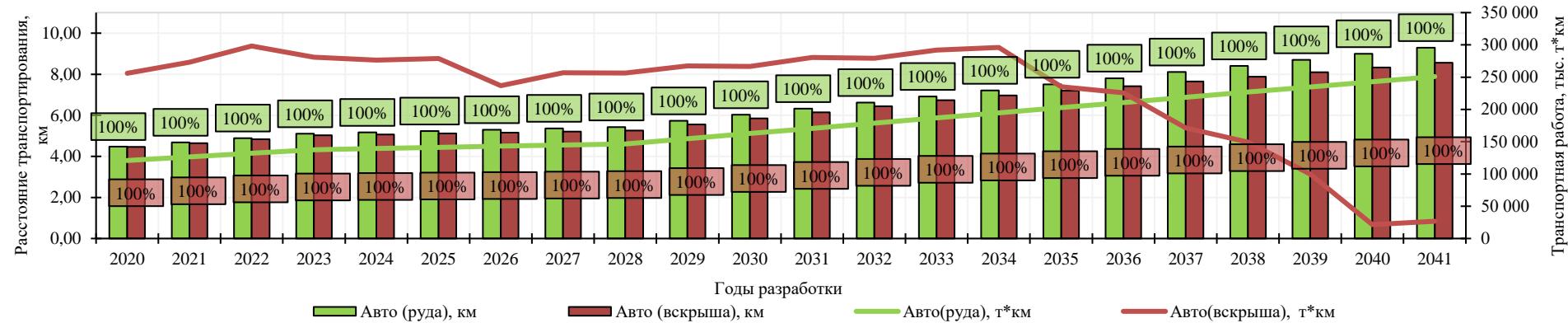


Рисунок 4.9 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 1

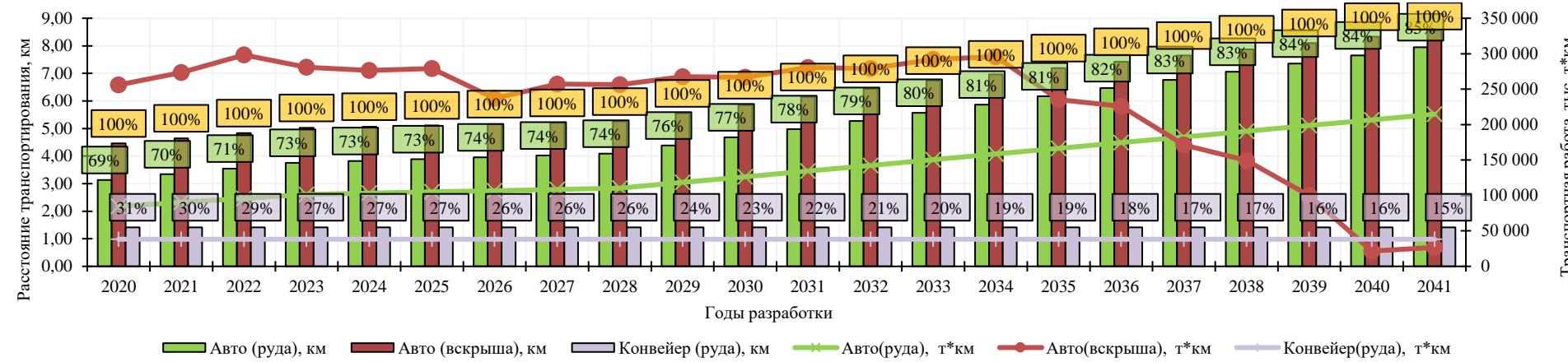


Рисунок 4.10 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 2

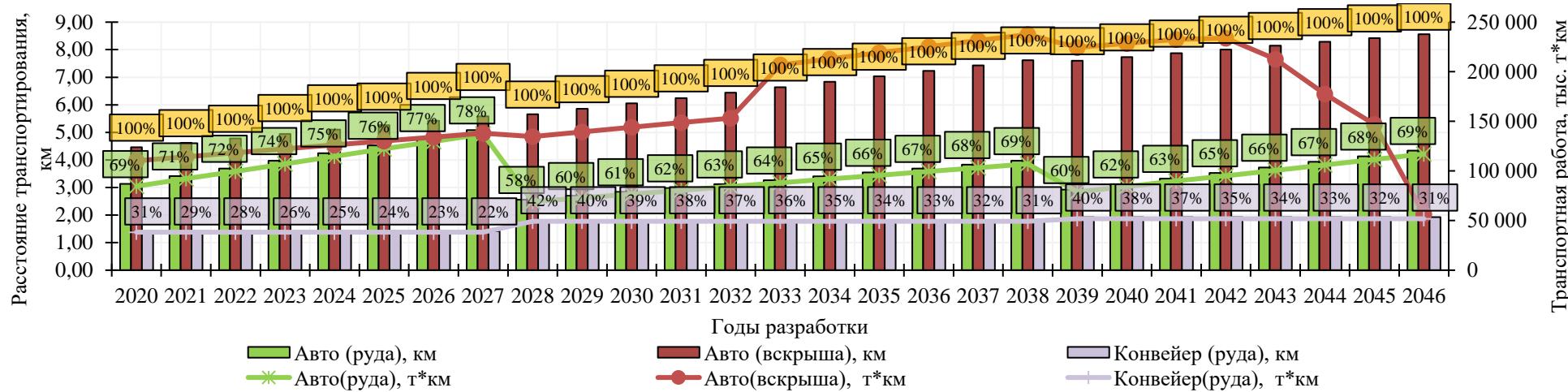


Рисунок 4.11 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 3

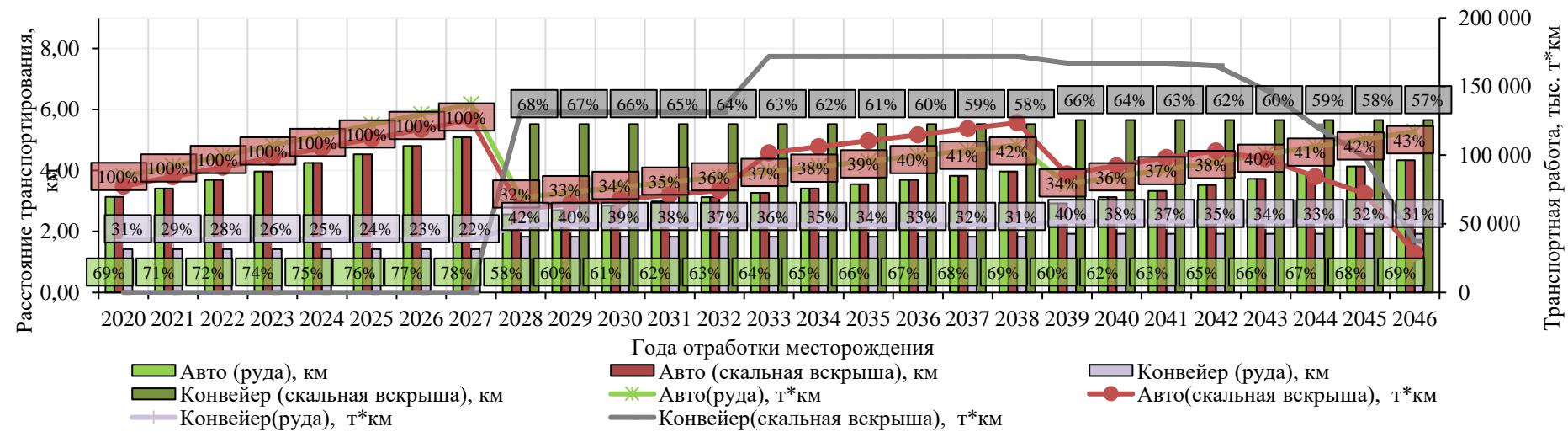


Рисунок 4.12 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 4

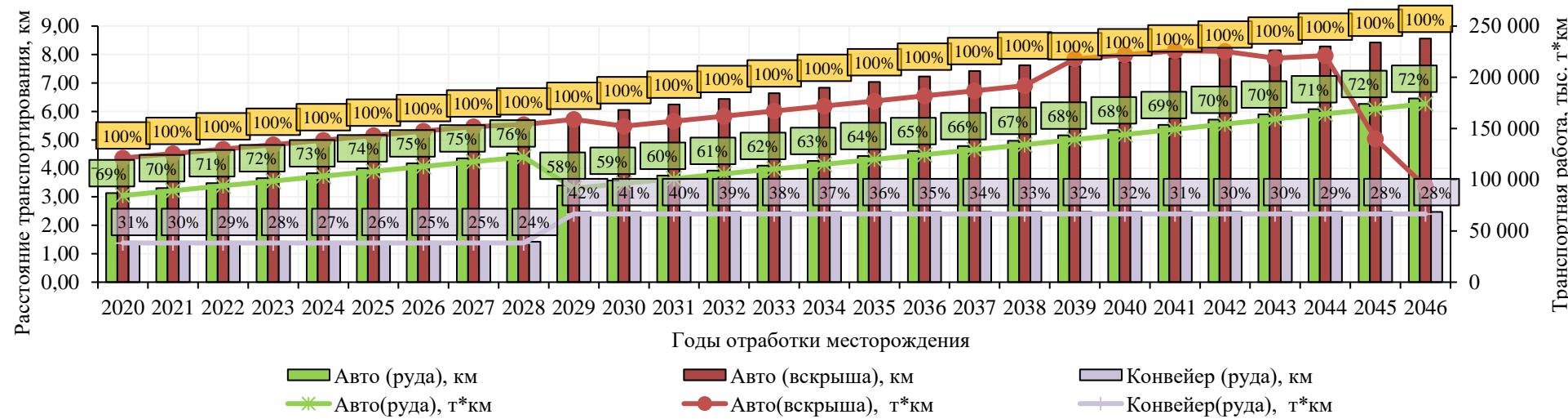


Рисунок 4.13 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 5

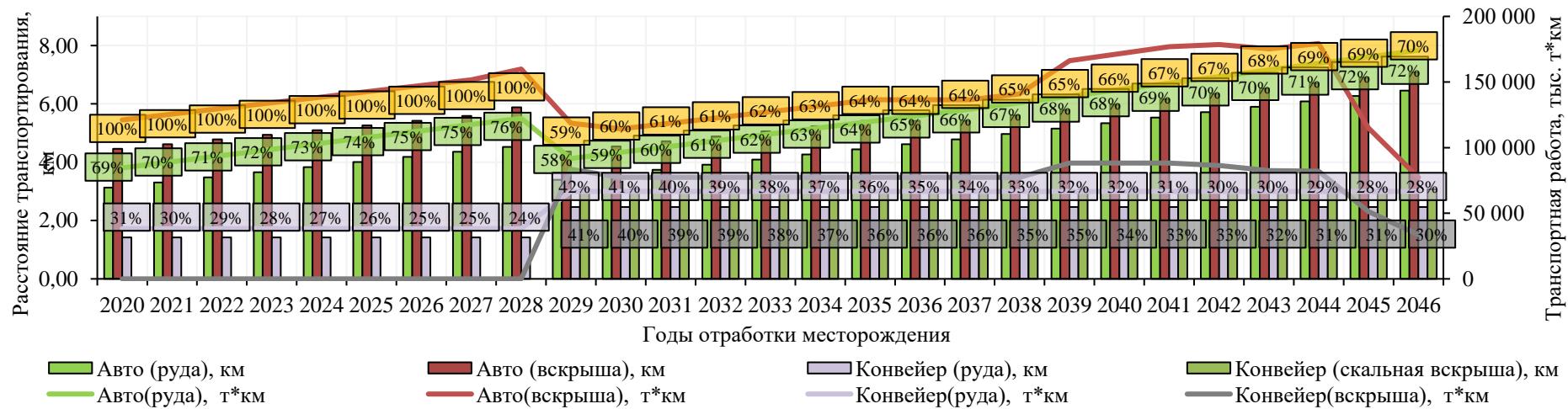


Рисунок 4.14 – Изменение расстояний транспортирования, приведенной транспортной работы и доли транспорта по годам отработки месторождения для варианта 6

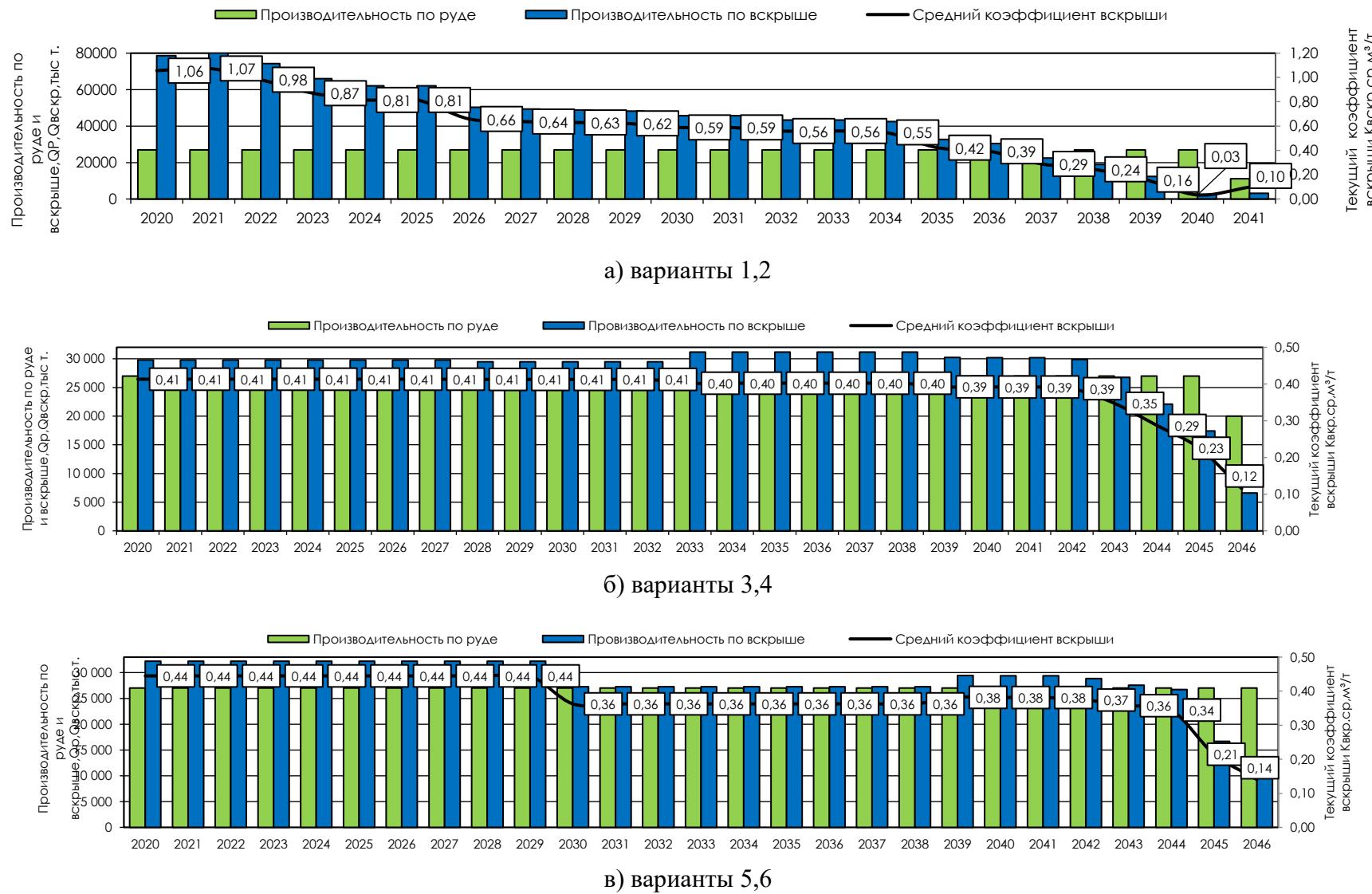


Рисунок 4.15 – Изменение объемов добычи руды, вскрыши и текущего коэффициента вскрыши по годам для рассматриваемых вариантов

4.3 Оценка влияния применяемого карьерного автотранспорта на параметры этапа разработки

Даже при использовании ЦПТ транспортирования пород доля автомобильного транспорта остается значительной, а параметры наклонных траншей определяют конструкцию рабочего и нерабочего бортов, что существенно влияет на показатели работы предприятия. Влияние параметров вскрывающих выработок, ширины транспортных берм, на объемы вскрышных пород вынимаемых из карьера, были исследованы на примере модели, параметры которой описаны в главе 2. Анализ расчетов параметров карьерных транспортных берм показывает, что определяемая на основе действующих нормативных документов ширина проезжей части оказывает наибольшее влияние на конечное расчетное значение ширины транспортной бермы. На карьерах формируют однополосные, двухполосные дороги, а также однополосные дороги с возможностью встречного разъезда. В свою очередь, ширина транспортной бермы оказывает непосредственное влияние на объемы выемки вскрышных пород из карьера. Влияние ширины транспортной бермы на параметры борта карьера представлены на рис. 4.16.

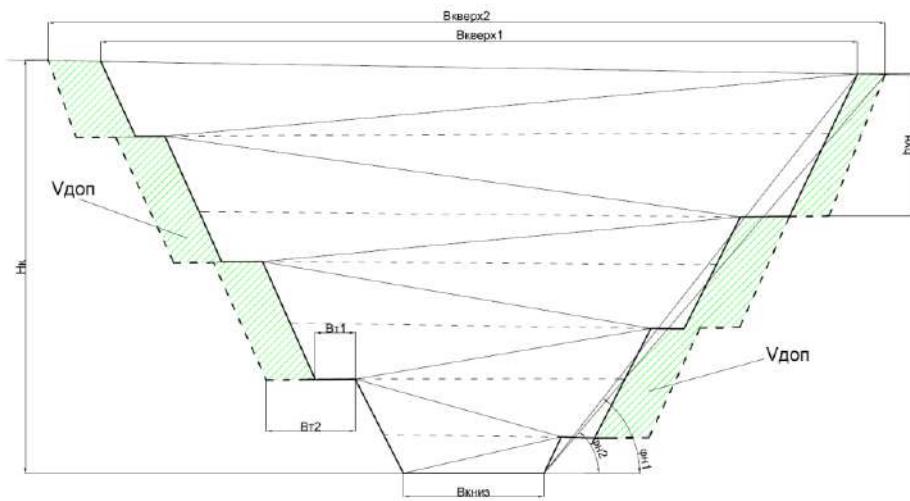


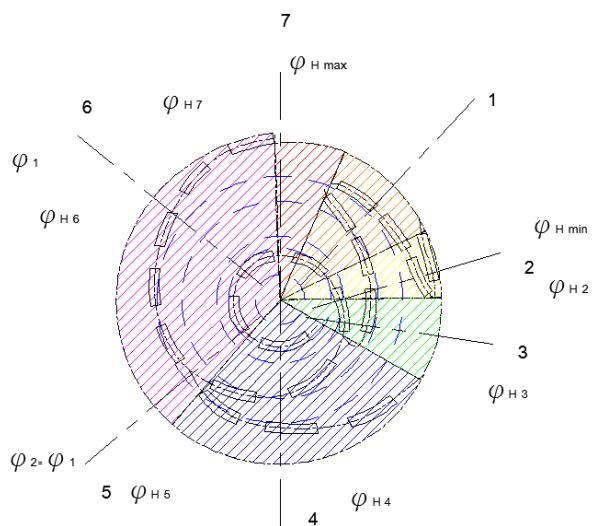
Рисунок 4.16 - Влияние ширины транспортной бермы на параметры нерабочего борта карьера и объемы выемки вскрышных пород

Вт1 – ширина транспортной бермы до реконструкции карьера, Вт2 – ширина транспортной бермы после реконструкции карьера (увеличение грузоподъемности

самосвалов), $V_{\text{доп}}$ – дополнительные объемы выемки пород для разноса борта карьера при увеличении ширины транспортной бермы, $B_{\text{верх1}}$ – ширина карьера поверху до реконструкции карьера, $B_{\text{верх2}}$ – ширина карьера поверху после разноса борта карьера, H_k – глубина карьера на конец отработки, $h_{\text{ун}}$ – высота нерабочего уступа, $B_{\text{низ}}$ – ширина карьера по низу

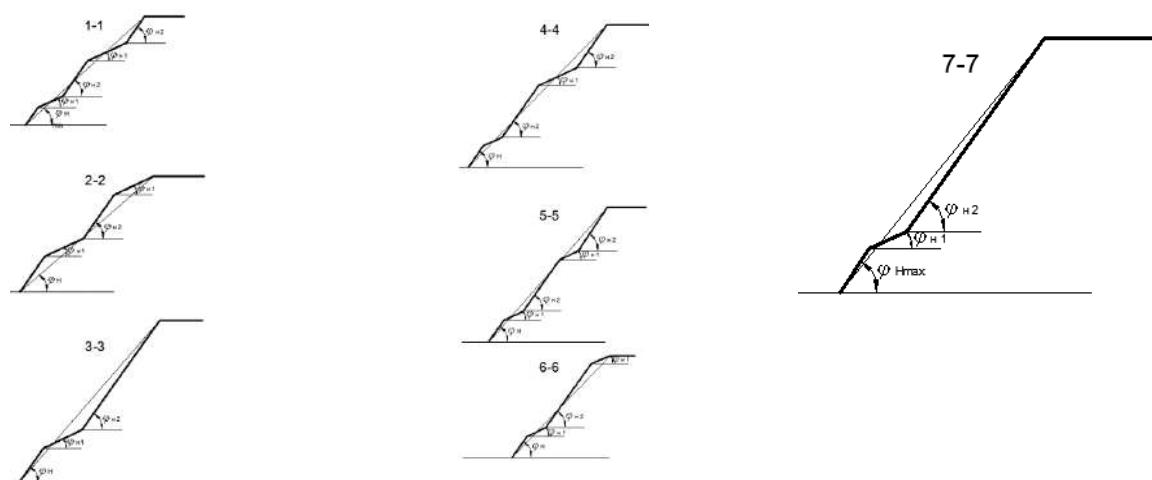
На величину угла борта карьера, а соответственно, объем вскрышных работ оказывает влияние не только параметры транспортной бермы, но и схема вскрытия, т. к. вскрывающие выработки могут различным образом размещаться в пространстве карьера. Влияние параметров схемы вскрытия на величину нерабочего и временно-нерабочего бортов карьера показано на рис. 4.17.

На рис. 4.17 значения угла нерабочего или временно-нерабочего бортов карьера изменяются от минимального значения $\phi_{\text{н min}}$, до максимального значения $\phi_{\text{н max}}$, занимая промежуточные значения $\phi_{\text{н 2}}$, $\phi_{\text{н 3}}$, ..., $\phi_{\text{н max}}$. На рис. 4.17а видно, что величина наклона борта карьера зависит от места расположения транспортной бермы, а на рис. 4.17б видно, что место расположения зависит от схемы вскрытия и, соответственно, формы трассы капитальных траншей. В различные периоды разработки отдельные элементы схемы вскрытия будут располагаться на рабочем, временно-нерабочем и нерабочем бортах карьера. Это повлияет на углы рабочего, временно нерабочего и нерабочего бортов. Величина угла рабочего и временно-нерабочего бортов непосредственно влияют на объемы текущей вскрыши и, соответственно, на текущий коэффициент вскрыши, величина угла нерабочего борта карьера влияет на общие объемы вскрыши в карьера, соответственно, на средний и средний эксплуатационный коэффициенты вскрыши. Для условий переходного периода при открытом способе разработки важнейшее значение имеют величина угла наклона ВНБ и его конструкция, а также параметры и конструкция угла нерабочего борта карьера.



$$\varphi_{H \min} < \varphi_{H 2} < \varphi_{H 3} < \varphi_{H 4} < \varphi_{H 5} < \varphi_{H 6} < \varphi_{H 7} < \varphi_{H \max}$$

a)



б)

Рисунок 4.17 - Модель карьера с размещением в пространстве схемы вскрытия (транспортной бермы): а) план карьера; б) сечения участков бортов карьера: φ_H – величина угла нерабочего или временно-нерабочего борта; $\varphi_{H \min}$ – минимальное значение угла борта; $\varphi_{H \max}$ – максимальное значение угла борта

Параметры транспортных берм зависят от габаритных размеров автосамосвалов. Габаритные размеры автосамосвалов существенно зависят от его грузоподъемности. При этом даже в одном классе автосамосвалов по грузоподъемности различие в конструктивном их исполнении влияет на ширину проезжей части.

Как отмечалось в главе 1, в современных условиях при принятии решения по изменению системы вскрытия для условий применения карьерного автотранспорта

достаточно сложным является выбор конкретного производителя и модели автосамосвала ввиду большого разнообразия. Российский рынок карьерных самосвалов в настоящее время насчитывает свыше 9 тыс. автомобилей грузоподъемностью от 30 до 360 т [10, 12]. Наибольшая доля приходится на продукцию автомобильного завода БелАЗ – более 90% от общего количества. Среди зарубежных производителей лидерами являются Caterpillar (3%) и Komatsu (2%). В то же время доля карьерного оборудования производителей дальнего зарубежья в последнее время существенно увеличивается. Анализ предлагаемых для карьеров автосамосвалов различных производителей показал, что машины каждого класса по грузоподъемности отличаются по своим габаритным размерам. Были проведены исследования по оценке влияния ширины автосамосвалов на конструкцию борта карьера через ширину транспортной бермы.

В качестве исходных данных для исследования использовались характеристики автосамосвалов наиболее широко представленных на карьерах России брендов Caterpillar, Komatsu, БелАЗ, Hitachi. Исследования производились для следующих классов грузоподъемности: 40-45 т; 90-100 т; 135-140 т; 180-220 т. Самосвалы большей грузоподъемности не рассматривались ввиду их малой доли на карьерах, особенно на рудных. Однако в разрабатываемом программном комплексе их также можно учитывать.

Наибольшее внимание в исследованиях уделено автосамосвалам грузоподъемностью до 45 т, в связи с их распространностью на Российских рудных карьерах (их доля составляет около 70% от общего числа самосвалов) и автосамосвалам грузоподъемностью 180-220 т в связи с перспективностью данных моделей, обусловленной общей тенденцией рынка – увеличение единичной мощности самосвалов. Данная тенденция имеет экономическое обоснование – при увеличении грузоподъемности со 100 до 300 тонн расходы на транспортировку снижаются на 25%. В настоящее время автомобильный транспорт, при грузоподъемности 220 т и более, может обеспечить практически любую производительность карьера по горной массе – до 200 млн т в год и более [148].

Исходя из габаритных размеров (ширины) карьерных самосвалов различных производителей в одинаковых классах по грузоподъемности была рассчитана необходимая ширина транспортной бермы с учетом обязательных элементов ее конструкции (рис. 4.18). Расчет выполнялся с учетом требований действующих нормативных документов по определению отдельных элементов транспортной бермы [205, 221]. Ширина транспортной бермы определялась по следующему выражению:

$$B = P_p + P_k + b + P_v + P_o + P_{ov} + P_{po} \quad (4.1)$$

где P_p – ширина проезжей части, м; P_k – ширина кювета по верху, м; b – ширина полки за кюветом, м; P_v – ширина предохранительного вала из скального грунта, м; P_o – ширина обочины перед кюветом; P_{ov} – расстояние от проезжей части до ограждающего вала; P_{po} – ширина призмы обрушения, м.

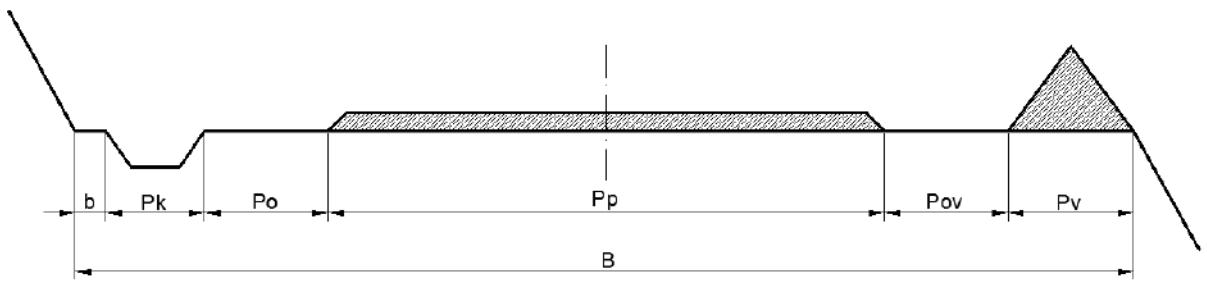


Рисунок 4.18 - Поперечный профиль транспортной бермы

Результаты расчетов ширины транспортной бермы для различных классов грузоподъемности по рассматриваемым производителям автосамосвалов представлены в табл. 4.2.

Результаты расчетов показали, что в зависимости от класса для различных моделей карьерных самосвалов ширина транспортной бермы различается на 5-20%. Изменение ширины транспортной бермы приведет к изменению конструкции и параметров бортов карьера. При уменьшении ширины транспортной бермы и соответствующем увеличении угла наклона борта карьера появляется возможность оптимизировать затраты на вскрышные работы.

Результаты моделирования и выполненных расчетов для условий

использования автосамосвалов различных моделей при двухполосной схеме движения представлены на рис. 4.19.

На рис. 4.17 видно, что при увеличении глубины открытых горных работ приращение погоризонтных объемов снижается, но, соответственно и сокращаются возможности изменения параметров системы вскрытия. Наибольшие возможности по регулированию параметров транспортных коммуникаций обеспечиваются при применении самосвалов большой грузоподъемности. Результаты расчетов затрат при изменении параметров системы вскрытия представлены на рис. 4.20.

Таблица 4.2 - Результаты расчета ширины транспортной бермы карьерных самосвалов различных классов грузоподъемности

Модель	Гр-ть, т	Ширина самосвала, мм	Расчетная ширина однополосной проезжей части, м	Расчетная ширина двухполосной проезжей части, м	Ширина транспортной бермы, м
40-50 т					
Cat 772	45	3927	6,5	12,0	19,7
Hitachi EH 750	38	4370	6,0	13,5	20,7
БелАЗ 7547	45	4110	5,5	13,0	20,2
Komatsu HD 405-6	41	3660		11,5	19,2
90-100 т					
Cat 777F	91	5223	7,5	22,5	24,2
Komatsu HD 785-7	91	5050	7,5	21,5	23,2
БелАЗ 75570	90	5400	7,5	23,0	24,7
Hitachi EH	90-98	5310		23,0	24,7
140 т					
Cat 785C	136	6257	8,5	25,5	28,6
Komatsu HD 1500-7	141	5985	9,5	25	28,1
БелАЗ 75137	136	7000	9,0	29	32,3
Komatsu 1200-1	140	6640		27	30,3
156-172 т					
Komatsu HD 1600 M-1	160	7100	9,5	29	37,4
БелАЗ 75 174	160	6850	9,0	28	36,4
Komatsu 630E	172	6655	9,0	27	35,4
Hitachi EH 3000	156	6290	11	26	34,4
Cat 793 D	218	7600	11	31	39,7
БелАЗ 7530	180-200	7820	9	35	43,7
Hitachi 3500	193	6370	10	26	34,7
Liebherr T252	181	7100		29	37,7

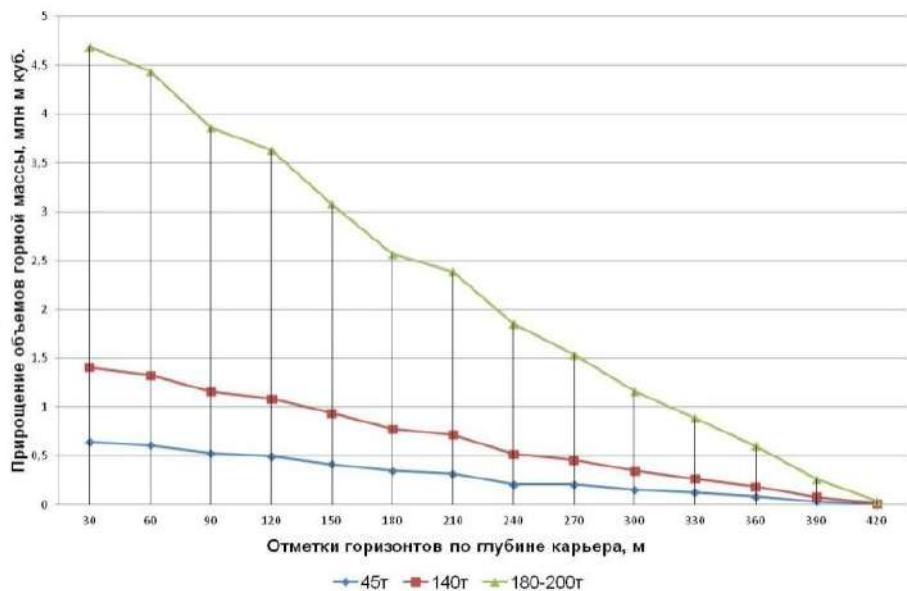


Рисунок 4.19 - Изменение погоризонтных объемов выемки горной массы по глубине карьера

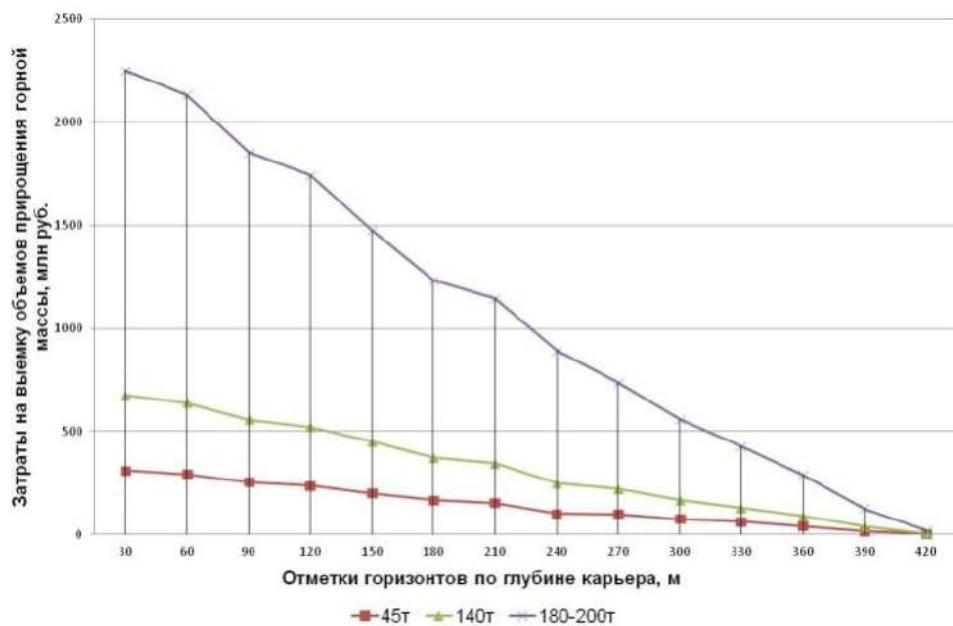


Рисунок 4.20 - Изменение затрат на выемку горной массы для различной ширины транспортной бермы от глубины карьера

Изменение параметров системы вскрытия и создание новой системы вскрытия предусматривает перераспределение по участкам рабочей зоны карьера не только транспортного, но и другого горного оборудования для производства работ. Обеспечение динамики формирования системы вскрытия в соответствии с заданной интенсивностью отработки отдельных участков рабочей зоны карьера позволит увеличить угол нерабочего борта карьера и сократить общие объемы вскрышных

поров, вынимаемых при разработке месторождения.

Устойчивость функционирования горнотехнической системы при разработке месторождения на новом этапе достигается путем: сохранения проектных объемов добычи руды на протяжении переходного периода и последующего этапа разработки, снижения объемов вскрышных работ в южной части карьера и снижения затрат на грузооборот при уменьшении расстояния транспортирования вскрышных пород во внутренний отвал, по сравнению с транспортированием вскрыши во внешние отвалы.

Когда изменяются параметры существующей системы вскрытия или проектируется новая система вскрытия, предусматривающая использование только автомобильного карьерного транспорта, часто ориентируются только на стоимость оборудования и предстоящие эксплуатационные расходы. В то же время, как показали результаты исследований, затраты на выемку вскрышных пород, при рассмотрении альтернативных вариантов системы вскрытия, могут значительно превышать разницу в затратах на приобретение и эксплуатацию автосамосвалов различных производителей. Чтобы минимизировать объем извлекаемых вскрышных пород из контуров карьера, рекомендуется учитывать габаритные размеры сравниваемых моделей и принимать автосамосвалы минимальной габаритной ширины. В противном случае следует учесть затраты на дополнительный разнос борта.

Традиционный метод расчета оптимальных параметров транспортной бермы и пересчет на параметры борта карьера достаточно трудоемкий. С целью снижения трудоемкости принятия решений по обоснованию параметров системы вскрытия - определению параметров транспортных берм карьеров и выбора горнотранспортного оборудования разработана и зарегистрирована «Программа расчета параметров транспортной бермы и прирезаемых объемов горной массы» для ЭВМ (далее Программа) [32,199,278].

Расчет основных параметров и подбор оптимальной модели автосамосвалов, производится по критерию стоимостной оценке, учитывающей влияние габаритов на объемы инвестиций в горно-капитальные работы.

Основными функциями Программы являются:

- расчет основных параметров карьерной автомобильной дороги на основе следующих исходных данных: тип схемы движения (однополосная, однополосная с возможностью разъезда, двухполосная); категорию дороги (1к, 2к, 3к); наличие технологических коммуникаций (водоотливная канава); учет влияния физико-механических свойств пород (возможное наличие призмы обрушения); технико-эксплуатационные параметры автомобиля самосвала (диаметр колеса, габаритные размеры автомобиля);
- построение графической модели транспортной бермы (поперечный разрез);
- оценка влияние габаритов разных моделей автосамосвалов на объемы горных работ и стоимость их проведения.

Диалоговое окно Программы представлено на рисунке 4.21.

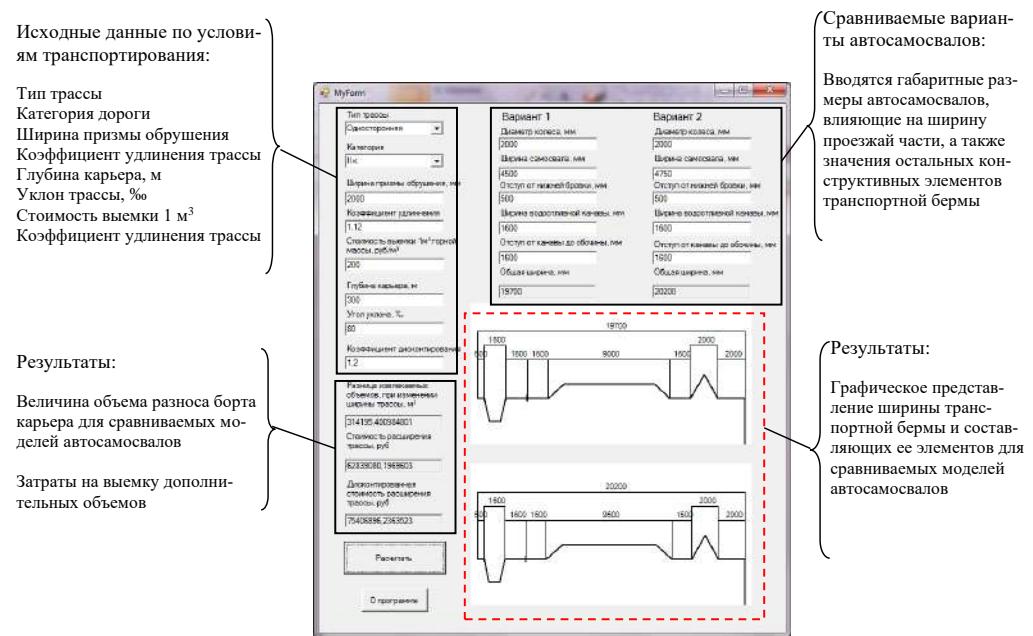


Рисунок 4.21 - Пример диалогового окна программы «Программа расчета параметров транспортной бермы и прирезаемых объемов горной массы»

Для оценки влияния изменения ширины транспортной бермы на объемы вынимаемой горной массы были проведены исследования для условной модели с параметрами, описанными в главе 2. Расчеты производились для условий использования автосамосвалов различных моделей при двухполосной схеме движения, обеспечивающей высокую интенсивность работы автотранспорта. При подсчете затрат на выемку горной массы были приняты усредненные стоимостные

показатели по горнодобывающим предприятиям Уральского региона. Результаты расчета изменения объемов горной массы и затрат на их выемку для различных классов грузоподъемности самосвалов представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Разница затрат на дополнительный объем разноса борта в зависимости от габаритной ширины автосамосвалов (в пределах одного класса грузоподъемности)

Показатели	Класс грузоподъемности автосамосвалов, т				
	40-50	90-100	140	156-172	Свыше 180
Разница ширины самосвалов, мм	701	350	1015	810	1450
Разница объемов разноса борта, млн. м ³	3,828	1,913	5,103	5,741	8,293
Дополнительные затраты на разнос борта, млн. руб.	765,5	382,8	1020	1148	1659

Выполненные расчеты показали, что при изменении ширины самосвала на 250 мм, ширина трассы 2 категории с однополосной схемой движения увеличивается на 500 мм, разница извлекаемых объемов составляет 314 тыс. м³, а стоимостном выражении 62,8 млн рублей.

Отсутствие учета габаритных размеров карьерных автомобилей самосвалов при обосновании параметров системы вскрытия в переходный период приводит к увеличению объемов выемки вскрышных пород и соответствующему увеличению себестоимости добычи полезного ископаемого, что снижает устойчивость функционирования горнотехнической системы в целом.

С увеличением грузоподъемности самосвалов разница в объемах выемки вскрыши возрастает. Автосамосвалы различных производителей в одном классе по грузоподъемности отличаются своими габаритными размерами. Дополнительные затраты на выполнение бортов карьера значительно превышают разницу в стоимости самосвалов различных производителей. Таким образом, габаритные размеры автомобилей самосвалов имеют важнейшее значение при формировании парка карьерной техники.

Использование предлагаемой программы автоматизированного расчета параметров карьерных транспортных коммуникаций позволяет снизить затраты времени на проведение инженерных расчетов. Использование данной программы

может облегчить обоснование параметров системы вскрытия, при проектировании нового или технического перевооружения текущего этапа разработки.

Таким образом, было определено, что параметры вскрывающих выработок, форма трассы, время реализации решений по изменению системы вскрытия карьера и его отдельных участков имеют определяющее значение во внутри этапных переходных периодах и при переходе с одного этапа разработки на другой. Большое разнообразие карьерных автосамосвалов, которые могут применяться на последующих этапах позволяет в значительном диапазоне регулировать параметры системы вскрытия, такие как ширина транспортной бермы и, соответственно, конструкция и угол откоса борта карьера. Оценку влияния данных параметров необходимо автоматизировать для упрощения принятия решения в переходный период.

При переходе от открытого способа разработки к подземному затраты существенно возрастают. Капитальные затраты по формированию системы вскрытия при этом связаны с проходкой вскрывающих выработок и оснащения их транспортными средствами. Эксплуатационные затраты возрастают в связи с увлечением транспортной работы по доставке рудной массы, т.к. существенно увеличивается глубина, с которой породы транспортируются на поверхность. Для сокращения капитальных затрат на формирование системы вскрытия при переходе на подземный способ разработки и сокращения продолжительности переходного периода целесообразно использовать карьер в качестве вскрывающей выработки, а с целью сокращения эксплуатационных затрат рассмотреть возможность создания новой системы вскрытия с использованием карьерных подъемников различных типов.

4.4 Обоснование параметров вскрытия с карьерными подъемниками при открыто-подземной разработке рудных месторождений

Многими исследователями отмечается, что переходный период с открытого способа разработки на открыто-подземный и подземный является самым сложным переходным периодом за весь период функционирования горнодобывающего предприятия. Когда осуществляется переход с одного способа разработки на другой на

горнодобывающим предприятии имеется сформированный карьер с системой вскрытия. Система вскрытия карьеров, особенно глубоких, формировалась десятилетиями и на ее создание в итоге были потрачены сотни миллионов, а иногда и миллиарды рублей. Рассмотрение возможности использования имеющейся системы вскрытия в переходный период с открытого способа разработки на подземный должно быть приоритетным, так как имеющаяся система вскрытия обеспечивает транспортный доступ до глубины в несколько сотен метров, что позволяет существенно сократить капитальные затраты на создание системы вскрытия подземного рудника. Исследования автора по формированию системы скрытия при переходе на открыто-подземный способ разработки отражены в [33,38,63,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78].

Как было рассмотрено в главе 1, в настоящее время накоплен значительный опыт использования карьерного пространства для размещения как основных вскрывающих подземных выработок, т.е. карьер с транспортными коммуникациями, при этом также используется как элемент системы вскрытия для подземного рудника.

Возможные технологические схемы перехода на подземную разработку разнообразны и принятие решений будет зависеть от многих факторов. Обязательным при выборе станет обеспечение безопасности доработки месторождения открытым способом и последующих подземных горных работ. Важным фактором будет являться расположение запасов, предполагаемых к подземной разработке, относительно проектного контура карьеров.

В исследованиях [107] были предложены способы вскрытия запасов за предельным контуром карьера при комбинированной разработке месторождений классифицированы в зависимости от расположения запасов относительно контура карьера по признаку использования карьерного пространства.

Благоприятствует использованию карьера при строительстве горизонтов подземного рудника наличие площадок для расположения перегрузочного пункта, транспортных коммуникаций, возможность размещать в карьере породы от проходки, независимо от работ по основной схеме вскрытия, если таковая предусматривается.

При выборе в карьере места заложения вскрывающих подземных выработок исходят из требований безопасности и удобства работ, возможности снабжения энергией, водой, наличия мест для организации перегрузки, отсутствие препятствий для открытых горных работ. Для того чтобы строительство шахты не препятствовало открытой разработке месторождения предпочтительнее начинать строительство после доработки карьера, однако в таком случае возникает разрыв в добывче руды на предприятии.

Когда подземный рудник будет эксплуатироваться, большое влияние на совмещение с открытыми горными работами будет оказывать принятая система разработки подземного рудника. Особенно это влияние будет оказываться при применении в подземном руднике систем разработки с обрушением вмещающих пород. Такие системы характерны при разработке малоценных руд. С учетом наметившейся тенденции вовлечения в разработку руд с все более низким содержанием полезного компонента, а также с ростом глубины ведения горных работ и сопутствующим ростом себестоимости добываемого сырья, можно предполагать, что данные системы разработки буду все более предпочтительными. Преимуществами данной системы является их относительная дешевизна ввиду отсутствия необходимости в закладочных работах.

При разработке приконтурных запасов системами с обрушением вмещающих пород в карьере возможно образование провалов. Для действующего карьера это приводит к необходимости консервации отдельных участков рабочей зоны карьера и начале возобновления работ на них только после прекращения подвижек и удалении эксплуатационных участков ведения подземных горных работ на безопасное расстояние от контура карьера [176]. Когда горные работы в карьере не ведутся наличие провалов в карьере от обрушения пород может привести к нарушениям целостности транспортной системы карьера. Ведь в глубоких карьерах при использовании карьерного автомобильного транспорта транспортными бермами охвачено до 100% периметра карьера окружного в плане и 60-100% для вытянутых в плане карьеров. В таких условиях необходимо отказываться либо от применения системы разработки с обрушением пород, либо от использования карьера в качестве вскрывающей выработки для подземного рудника, либо от разработки подземным

способом части запасов пород, близко расположенных к карьеру. Любое из выше-рассмотренных мероприятий приведет к снижению эффективности подземной разработки или сделает ее вообще не рентабельной.

Если рассмотреть перспективу освоения подземным способом месторождений асбеста, например на Киембаевском или Джетыгаринском месторождениях, которые являются глубокозалегающими и прослеживаются на глубину более 600 м, за проектными контурами действующих карьеров, на которых остаются запасы сырья, то строительство рудовыдачных стволов с поверхности или применение систем разработки с закладкой вообще не окупится на данных месторождениях ввиду низкой стоимости сырья. То же самое будет наблюдаться и на других месторождениях, например, руд цветных металлов с низким содержанием полезных компонентов, некоторых месторождений железных руд и т.п.

Для расширения возможности применения карьера в качестве вскрывающей выработки необходима оптимизация системы вскрытия карьера путем локализации транспортных коммуникаций на участках борта карьера, не попадающих в зону обрушения подземного рудника. Это возможно осуществить путем строительства энергоэффективных карьерных подъемников как для целей открытых горных работ, так и для последующего их использования при подземной разработке месторождения.

В настоящее время многие карьеры, разрабатывающие крутопадающие месторождения, находятся на стадии доработки или близки к ней. Возможность изменения схемы вскрытия и, соответственно, вида транспорта на таких карьерах, как правило, не рассматривается, так как период реконструкции и окупаемости капитальных вложений превышает срок отработки запасов открытым способом. Однако, как рассматривалось выше, отработка закончурных запасов на данных месторождениях предусматривается подземным способом, в том числе рассматривается возможность использования карьера в качестве главной вскрывающей выработки. Изменение схемы вскрытия и вида транспорта на таких карьерах позволит повысить эффективность открытой разработки и в последствии отработать подземный рудник с наименьшими затратами.

Целесообразность строительства и применения карьерных подъемников в

период эксплуатации показана в главе 1 настоящей диссертации.

Возможны следующие варианты размещения карьерных подъемников: на борту карьера и в подземных выработках. Устройство конвейерного подъемника в крутой траншее (при одинаковой глубине и производительности) по длительности переходного периода почти вдвое меньше, чем при вскрытии глубоких горизонтов карьера наклонными стволами. Строительство 1 м (по вертикали) наклонного ствола для конвейеров примерно в 2–3 раза дороже, чем на проходку крутой траншее, а строительство подземных перегрузочных пунктов – в 3–4 раза дороже наземных [163].

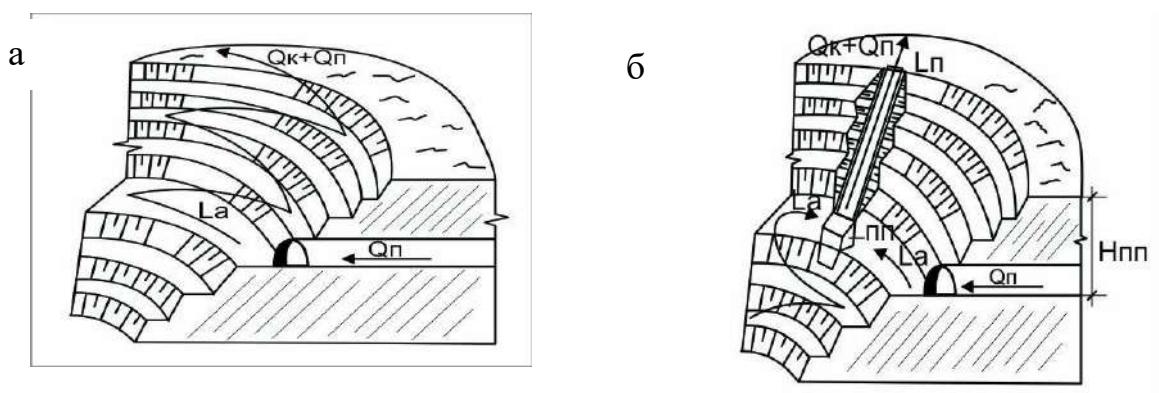
Поэтому для определения эффективности изменения схемы вскрытия и вида транспорта в карьере на заключительных этапах открытой разработки в работе сравнивались три варианта системы вскрытия при комбинированной открытно-подземной разработке месторождений:

- с использованием существующей схемы вскрытия карьера наклонными траншеями и транспортированием всей горной массы посредством автомобильного транспорта (рисунок 4.22, схема а), данный вид схемы применяется в настоящее время при использовании карьеров в качестве вскрывающей выработки;

- с переходом на комбинированную схему вскрытия наклонными и крутыми траншеями с соответствующим переходом с автомобильного на автомобильно-скиповой транспорт (рисунок 4.22, схема б);

- с переходом на комбинированную схему вскрытия наклонными и крутыми траншеями с соответствующим переходом с автомобильного на автомобильно-конвейерный транспорт (рисунок 4.22, схема в).

Схема (а) сравнивалась с предлагаемыми схемами (б) и (в).



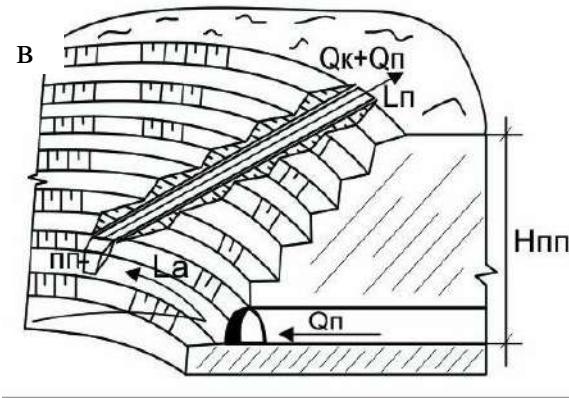


Рисунок 4.22 - Система вскрытия месторождений с использованием карьера в качестве вскрывающей выработки для подземного рудника: а - наклонными траншеями с доставкой горной массы автотранспортом от забоя до поверхности; б - крутой траншееей, с расположенной в ней скиповым подъемником; в - крутой траншееей, с расположенной в ней конвейером

На рисунке 4.22 Q_к и Q_п – объем транспортирования горной массы из карьера и руды с подземного рудника, соответственно; L_а – расстояние транспортирования горной массы автомобильным транспортом по карьеру до поверхности на рис. а и до перегрузочного пункта на рис. б и в; L_п – расстояние транспортирования горной массы подъемником на поверхность; H_{пп} – глубина расположения перегрузочного пункта в карьере.

Соответственно, зона эффективного применения карьерных подъемников может быть расширена, путем реализации комбинированных схем транспортирования в нижней зоне карьера на этапе доработки и перехода на открыто-подземный способ (рис. 4.23).

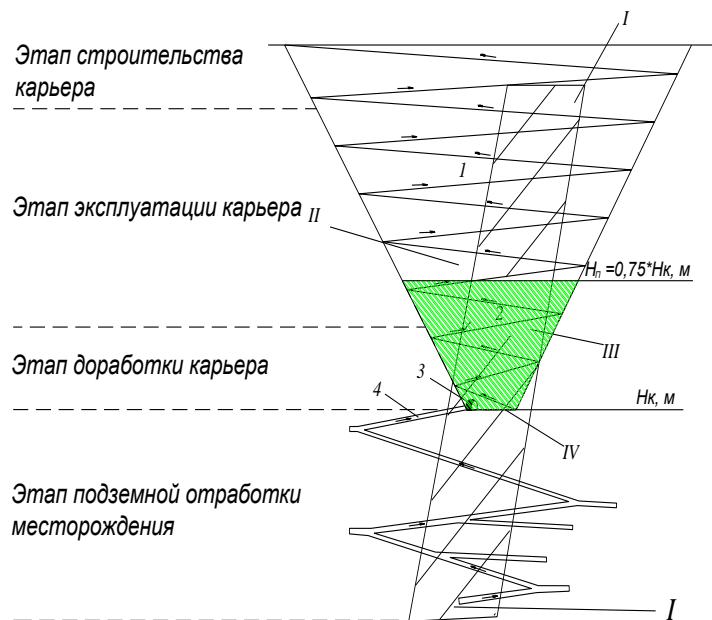


Рисунок 4.23 - Зоны рационального использования автомобильного и автомобильно-конвейерного и автомобильно-скипового транспорта в карьерах при открыто-подземной разработке месторождений: 1 - зона автомобильного транспорта;

2 - зона автомобильно-конвейерного (скипового) транспорта; 3 - портал наклонного съезда; 4 - наклонный съезд; I - полезное ископаемое; II - граница перехода на автомобильно-конвейерный (скиповую) транспорт при разработке месторождения открытым способом; III - зона перехода на автомобильно-конвейерный (скиповую) транспорт при комбинированной разработке месторождения; IV - граница перехода на автомобильно-конвейерный и автомобильно-скиповую транспорт при комбинированной разработке месторождения; H_K - конечная глубина карьера; H_{II} - глубина расположения перегрузочного пункта в карьере при автомобильно-конвейерном транспорте

Выполненный анализ по ряду горнодобывающих предприятий, разрабатывающих и предполагаемых к разработке месторождений открыто-подземным способом, показал, что объемы перемещаемых пород на одном и том же месторождении сильно отличаются (рис. 4.24). Это обусловлено, в первую очередь, тем, что при подземной разработке месторождений практически отсутствуют вскрышные работы. При этом производительность по руде открытого и подземного рудников могут совпадать или отличаться незначительно.

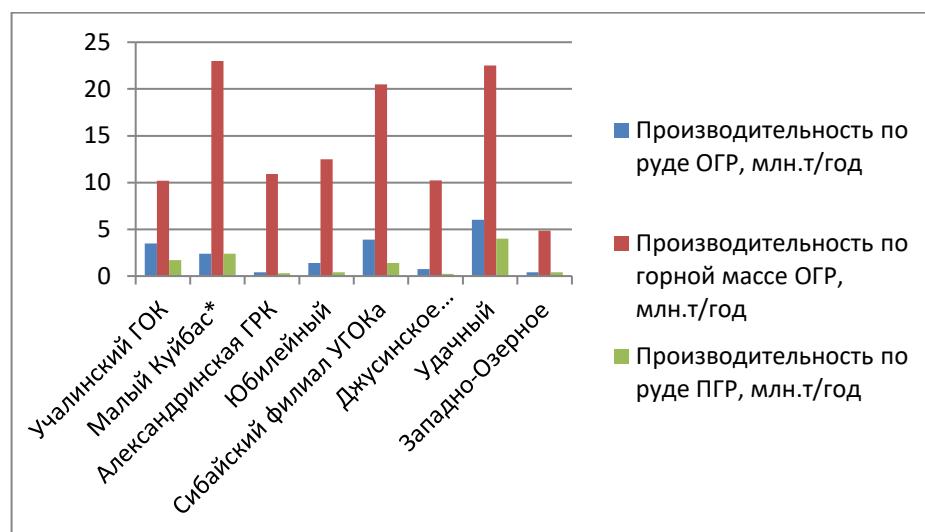


Рисунок 4.24 – Производительность рудников при разработке месторождений открыто-подземным способом

Максимальную эффективность от применения ЦПТ достигается при транспортировании максимальных объемов. Соответственно, для карьеров представленных на рис. 4.24 целесообразно в карьере устанавливать подъемники для перемещения вскрыши, а для подземного рудника они будут применяться для перемещения руды.

На рисунке 4.25 приведен график изменения дисконтированного экономического эффекта при строительстве конвейерного подъемника в карьере от объема транспортирования из подземного рудника при разной глубине расположения перегрузочного пункта. Изменение схемы вскрытия карьера целесообразно при объеме транспортируемой с подземного рудника руды более 2 млн. т. При глубине расположения перегрузочного пункта в карьере - 500 м и производительности подземного рудника 7 млн. т в год дисконтированный экономический эффект превышает 1 млрд. руб. Величина дисконтированного экономического эффекта находится в прямо пропорциональной зависимости от производительности подземного рудника.

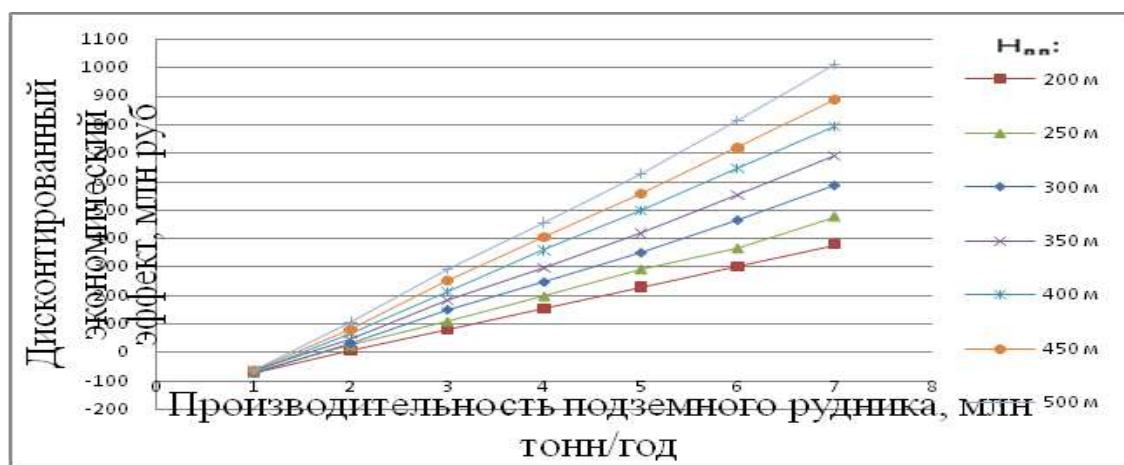


Рисунок 4.25 - Изменение дисконтированного экономического эффекта от внедрения конвейерного подъемника при различной производительности подземного рудника и глубине расположения концентрационного горизонта в карьере: $H_{пп}$ – глубина расположения перегрузочного пункта в карьере, м.

За период существования горного предприятия эксплуатация карьерных подъемников будет осуществляться в трех режимах, характерных для этапа эксплуатации, периода доработки месторождения открытым способом и периода подземной доработки. Период перехода с одного этапа на другой представляет собой переходный период, в таких условиях необходимо разрабатывать и внедрять организационно-технологические мероприятия, позволяющих обеспечить высокую эффективность применяемой системы вскрытия.

Как отмечалось ранее, на заключительных этапах открытых горных работ и в период подземной разработки законтурных запасов производственная мощность горного предприятия значительно меньше производственной мощности этапа эксплуатации карьера. В условиях снижающейся производственной мощности предприятия и сохранения достаточно высокого уровня затрат на электроэнергию подъемник становится неконкурентоспособным по сравнению с автотранспортом, так как технические характеристики подъемника (ширина и скорость движения конвейерной ленты, вместимость и скорость движения скипов, мощность электродвигателей подъемника) соответствуют производительности карьера по горной массе этапа эксплуатации. Поэтому необходимо предусматривать мероприятия по повышению эффективности применения карьерных подъемников.

Характеристика данных периодов и предлагаемых мероприятий состоят в следующем:

I – на этапе эксплуатации карьера, подъемник используется на 90-100% от его проектной производительности (рисунок 4.26).

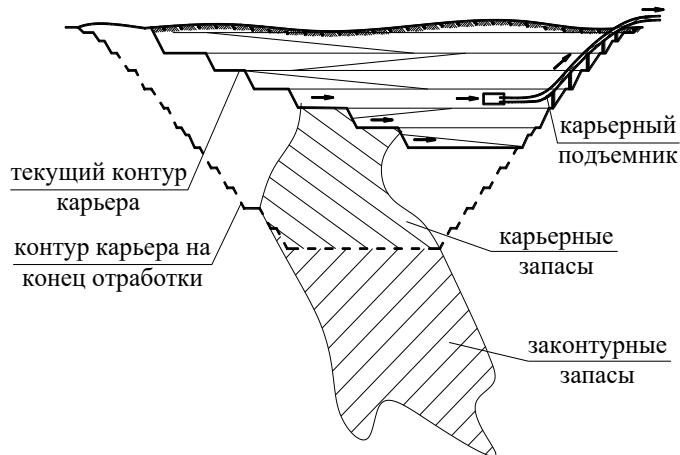


Рисунок 4.26 - Применение подъемника на этапе эксплуатации карьера

Для снижения затрат на электроэнергию целесообразно произвести замену электродвигателей подъемника на электродвигатели с повышенным классом энергетической эффективности.

В качестве электроприводов конвейерного подъемника, как правило, используются асинхронные двигатели. Традиционный асинхронный двигатель имеет класс энергоэффективности не выше IE1 по международному стандарту. В

настоящее время существуют новые разработки в направлении повышения класса энергоэффективности до IE2, IE3. Принципиальное отличие новых двигателей от применяемых в настоящее время заключается в том, что за счет изменения электромагнитной схемы электрических машин достигается повышение коэффициента мощности до 1. Это позволяет при прежней технологической нагрузке существенно уменьшить потребляемый из электросети ток, следовательно, снизить потери активной мощности в системе электроснабжения горного предприятия. Применение таких двигателей позволяет уменьшить потери в силовой части электроприводов и системе электроснабжения до 30% потерь активной мощности за счет компенсации реактивной мощности.

На этапе доработки карьера подъемник используется на 40-60% от его проектной производительности. Это связано с тем, что производственная мощность карьера снижается в результате сокращения параметров рабочей зоны и количества горнотранспортного оборудования.

II – на этапе доработки карьера (рисунок 4.27).

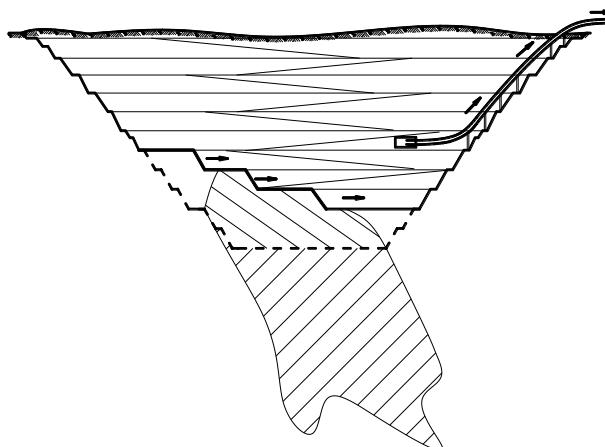


Рисунок 4.27 - Применение подъемника на этапе доработки карьера

Для повышения эффективности применения конвейерного подъемника в данных условиях рассмотрены следующие способы снижения энергозатрат в зависимости от типа привода:

1) снижение скорости движения конвейерной ленты при электроприводе с регулируемой скоростью движения ленты. Снижение скорости движения конвейерной ленты позволяет значительно сократить общий пробег конвейерной ленты и, соответственно, увеличить срок ее службы. Привод конвейера обеспечивает

постоянную или переменную скорость движения тягового элемента. Изменение ее может быть плавным или ступенчатым. Плавное изменение скорости для оптимального использования конвейера по режиму загрузки достигается при помощи вариатора, устанавливаемого в приводном механизме, или специальных муфт, соединяющих электродвигатель привода с редуктором, а также при применении гидропривода, частотных преобразователей или электродвигателей постоянного тока. Ступенчатое изменение скорости обеспечивается при установке коробки скоростей, набора сменных передач, многоскоростных электродвигателей;

- 2) сокращение времени использования карьерного подъемника при сооружении рудного склада вблизи подъемника объемом, равным сменной производительности карьера в период доработки. При таком варианте подъемник будет периодически останавливаться и вновь вводиться в действие при заполнении аккумулирующего склада;
- 3) замена электродвигателей подъемника на электродвигатели, мощность которых рассчитана на производственную мощность карьера на этапе доработки, имеющих повышенный класс энергоэффективности (IE2 или IE3).

Был произведен расчет стоимости энергозатрат по данным вариантам представлен [59]. Результаты расчетов представлены на рисунке 4.28.

В результате выполненных расчетов установлено, что минимальные затраты на электроэнергию обеспечиваются при замене электродвигателей подъемника на электродвигатели, мощность которых рассчитана на производственную мощность карьера в период доработки, имеющих повышенный класс энергоэффективности.

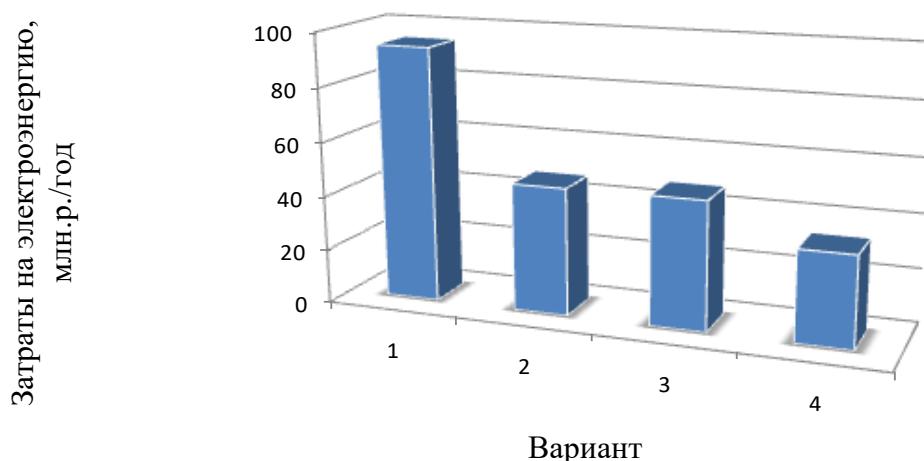


Рисунок 4.28 – Стоимость энергозатрат: 1 – на этапе эксплуатации карьера, 2 – для варианта 1 при снижении скорости движения конвейерной ленты, 3 – для варианта

2 при сокращении времени использования подъемника, 4 – для варианта 3 при замене электродвигателей подъемника

III – в период разработки законтурных запасов (рисунок 4.29). Производственная мощность подземного рудника по руде, как отмечалось ранее, значительно ниже производительности карьера по горной массе на одном и том же месторождении, поэтому подъемник используется до 30% от его проектной производительности.

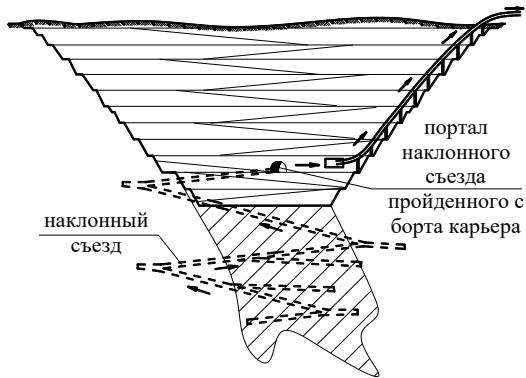


Рисунок 4.29 - Применение подъемника в период разработки законтурных запасов

Повышение эффективности применения подъемника на этапе подземной доработки месторождения также достигается рассмотренными выше способами снижения энергозатрат. Затраты на электроэнергию при использовании карьерного конвейерного подъемника для целей подземного рудника по вариантам представлены на рисунке 4.30.

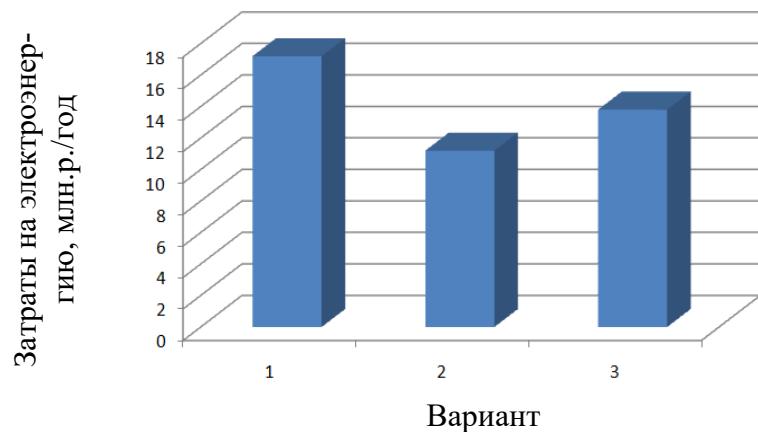


Рисунок 4.30 - Стоимость энергозатрат при использовании карьерного конвейерного подъемника для целей шахты: 1 – для варианта 1 при снижении скорости движения конвейерной ленты, 2 – для варианта 2 при сокращении времени использования подъемника, 3 – для варианта 3 при замене электродвигателей подъемника.

Результаты выполненных исследований показывают, что при наличии в карьере площадки для размещения рудного склада целесообразно сокращение времени

использования конвейерного подъемника. В случае отсутствия данной площадки целесообразна замена электродвигателей на электродвигатели, мощность которых рассчитана на производственную мощность шахты, имеющих повышенный класс энергоэффективности.

Соотношение производственных мощностей открытого и подземного рудников, наличие горизонтальных площадок в карьере для создания перегрузочных пунктов оказывают определяющее влияние на выбор способа повышения эффективности применения карьерного подъемника. При выборе месторасположения проектируемого подъемника для обеспечения возможности его использования при подземных горных работах необходимо учитывать: расположение законтурных запасов относительно контура карьера и принятую систему разработки подземного рудника, возможность оставления целиков, схему размещения поверхностных сооружений открытого и подземного рудников, а также срок эксплуатации карьерного подъемника.

Срок окупаемости капитальных вложений на строительство конвейерного подъемника (рисунок 4.31) зависит от глубины расположения концентрационного горизонта, производительности подземного рудника и находится в пределах 2-16 лет. Срок окупаемости сокращается с ростом производительности подземного рудника. С учётом невысокой производительности подземных рудников, по сравнению с карьерами и производительностью карьеров в период доработки, приближающейся к производительности подземного рудника, срок окупаемости подъемника приходится на период эксплуатации подземного рудника. Таким образом решение по изменению системы вскрытия в текущем этапе целесообразно рассматривать и на последующие этапы разработки.

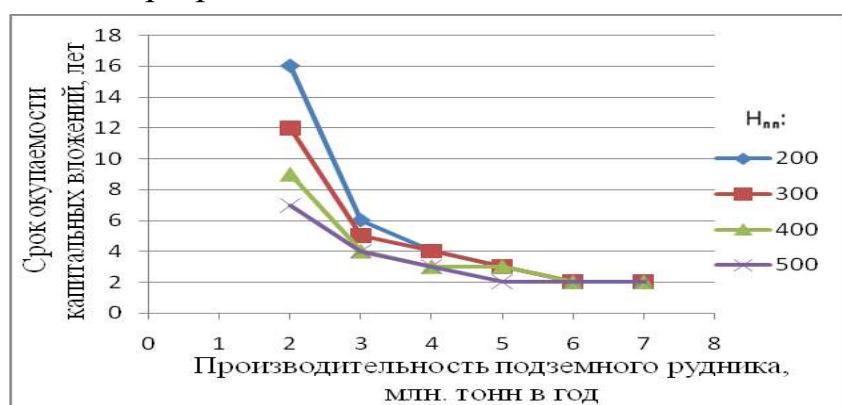


Рисунок 4.31 - Срок окупаемости капитальных вложений при различной производительности подземного рудника и глубине расположения концентрационного горизонта: $H_{пп}$ – глубина расположения перегрузочного пункта в карьере, м.

Проведенные исследования показали экономическую эффективность изменения схемы вскрытия карьера наклонными траншеями на схему вскрытия наклонными и крутыми траншеями с изменением вида транспорта с автомобильного на автомобильно-конвейерный транспорт при комбинированной открыто-подземной разработке.

Обоснование целесообразности применения схем вскрытия с использованием карьерных подъемников рассматривался в сравнении с транспортированием руды автомобильным транспортом по карьерным автодорогам. В то же время, рассматривая возможные варианты схем вскрытия и разработки законтурных запасов на месторождении, сравнение производят также со схемами вскрытия стволами с поверхности. Поэтому необходимо обосновать рациональную область применения карьерных подъемников в схемах вскрытия законтурных запасов при транспортировании по ним рудной массы из подземного рудника по сравнению со вскрытием стволами с поверхности и транспортированием по ним руды.

Расположение дорабатываемых запасов относительно контура карьера предполагает определение степени влияния зоны сдвижения пород на сохранность карьерного пространства при отработке законтурных запасов системами разработки с обрушением вмещающих пород. С учетом этого, должны планироваться: форма трассы карьерных автодорог, месторасположение подъемника, объем извлекаемых запасов, которые будут транспортироваться с применением карьерного подъемника.

Разработка приконтурных и удаленных от контура карьера запасов отличается различным воздействием на карьерное пространство. К приконтурным запасам относятся рудные участки, непосредственно прилегающие к границам контура карьера или залегающие в непосредственной близости от них. К удаленным запасам относятся рудные участки, не имеющие прямого выхода в карьерное пространство и находящиеся за пределами геомеханического влияния карьерной выемки. Приконтурные запасы разделяются на прибортовые и придонные, а удаленные от карьера – на запасы, расположенные выше и ниже уровня его дна [107].

Отработка удаленных от контура карьера запасов позволяет применять в карьере любой тип транспорта относительно условий размещения и сохранности транспортных коммуникаций (рисунок 4.32), так как ведение подземных горных работ не влияет на устойчивость и сохранность бортов карьера.

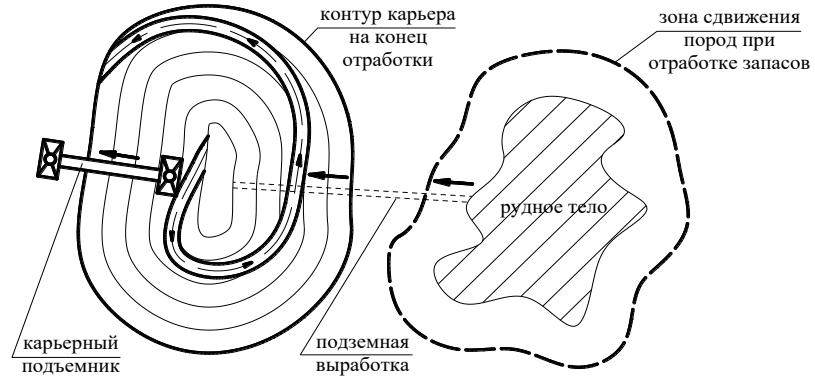


Рисунок 4.32 - Взаиморасположение карьера и зоны сдвижения пород при отработке, удаленных от контура карьера запасов

При вскрытии приконтурных запасов зона сдвижения может охватывать часть карьерного пространства (рисунок 4.33). Сохранность существующей трассы в карьере становится проблематично и возникает необходимость строительства петлевой формы трассы, либо простой формы трассы с увеличенными уклонами для транспортирования рудной массы из шахты автомобильным транспортом, размещение подъемника на борту карьера вне зоны сдвижения пород. Если карьерный подъемник расположен в зоне сдвижения пород, необходимо оставление той части законтурных запасов в целике, при отработке которой подъемник окажется в зоне обрушения.

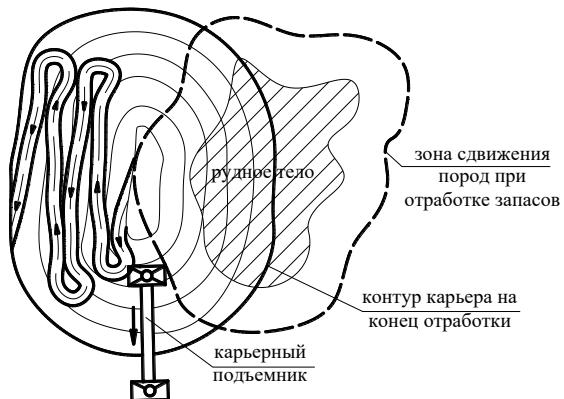


Рисунок 4.33 - Взаиморасположение карьера и зоны сдвижения пород при отработке приконтурных запасов

В случае нахождения всего карьерного пространства в зоне сдвижения пород необходимо оставление части законтурных запасов в целике под участком, предусмотренным для размещения транспортных коммуникаций (рисунок 4.34). Для минимизации объема запасов, оставляемых в целиках, целесообразно применять только подъемники.

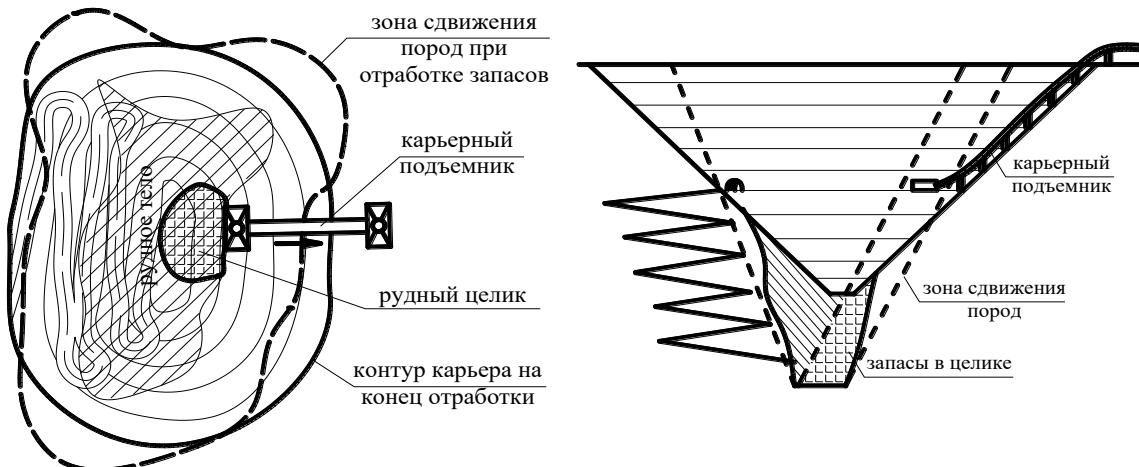


Рисунок 4.34 - Расположение карьера в зоне сдвижения пород при отработке приконтурных запасов

В результате выполненных исследований было установлено, что каждый тип подъемника имеет определенный интервал глубины рационального применения для обеспечения грузооборота по горной массе необходимого объема. Для определения области эффективного применения подъемников проведены исследования по выявлению зависимости их производительности от высоты подъема горной массы. Исследовались наклонные скиповые подъемники, расположенные на борту карьера грузоподъемностью скипа от 27 до 200 т и скоростью движения скипов от 4 до 10 м/с, вертикальные – в стволах грузоподъемностью скипа от 25 до 50 т и скоростью движения скипов от 4 до 14 м/с, ленточный и крутонаклонные конвейеры с прижимной и шевронной лентой, а также вертикальные конвейерные системы POCKETLIFT в вертикальных стволах с шириной ленты от 1 до 2 м и скоростью движения ленты от 0,5 до 4 м/с. Исходя из технических характеристик по известным расчетным методикам была определена область возможного применения различных подъемников по производительности и высоте подъема горной массы (рисунок 4.35).

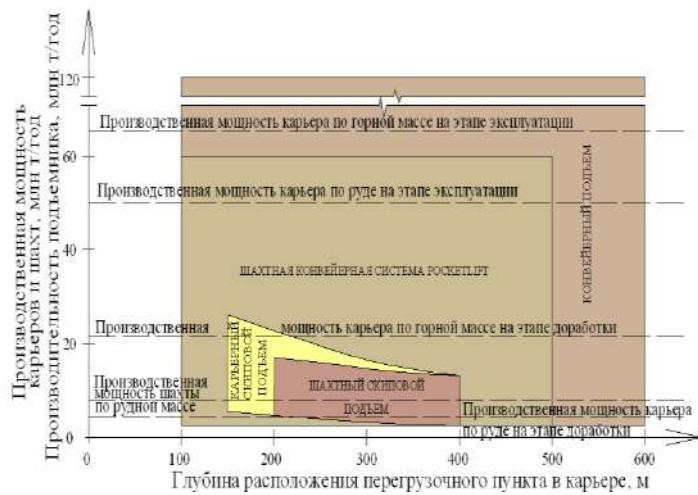


Рисунок 4.35 - Зависимость производительности подъемников от высоты подъема горной массы

Очевидно, что производительность конвейерного подъемника как поточного транспорта не снижается с увеличением глубины перегрузки в карьере, тогда как производительность склонового подъема как циклического транспорта с увеличением глубины перегрузки снижается. Однако возможность преодолевать склонами крутые уклоны позволяет наиболее экономично использовать их в карьерах с крепкими скальными породами и рудами, допускающими крутые устойчивые откосы бортов.

Рассматриваемые технологические схемы применения подъемников для целей открытых и подземных горных работ, а также особенности и условия их применения представлены на рис. 4.36.

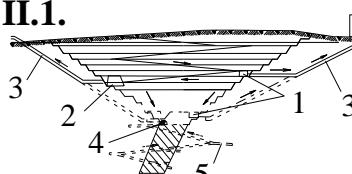
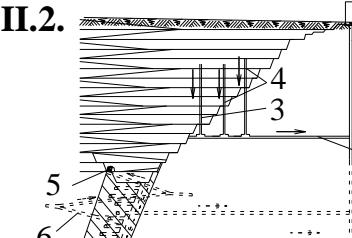
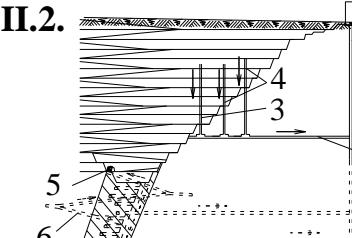
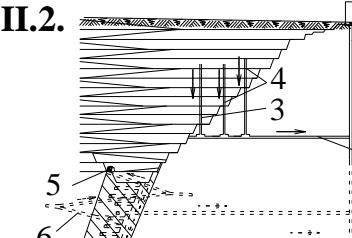
Для вышеприведенных технологических схем были определены условия их применения и определен диапазон параметров и показателей горно-геологических и технологических условий разрабатываемых с их использованием месторождений (табл. 4.4).

Далее необходимо установить область эффективного применения каждой технологической схемы при разработке закончительных запасов в зависимости от производственной мощности шахты, глубины расположения перегрузочного пункта в карьере и удаленности запасов от контуров карьера.

Рисунок 4.36 - Классификация технологических схем транспортирования горной массы с применением карьерных подъемников при разработке месторождений открыто-подземным способом

Класс	Схема вскрытия	Группа	Тип подъемника	Технологическая схема комбинированного транспорта		Особенности технологической схемы	Условия применения при разработке запасов, расположенных		
				Схема	рудная		выше уровня дна карьера	ниже уровня дна карьера	
I	Горизонты карьера вскрыты наклонными и крутыми траншеями	1	Конвейерный	I.1.		KKP расположается под углом откоса борта карьера и сочетает наклонные участки конвейерной трассы с пологими без перегрузочных устройств.	При Lшт= 1: Нпп=200, Qр=2,5. Нпп=300, Qр= 2,8; Нпп=400, Qр=3.	При Нш= 600: Нпп=200, Qр=2. Нпп=300, Qр= 2,6; Нпп=400, Qр=3.	
		2	Скиповoy	I.2.		Условные обозначения ОГР- открытые горные работы; ПГР- подземные горные работы; КА - карьерный автосамосвал; ПА - подземный автосамосвал; ПБ - приемный бункер; ККП - крутонаклонный конвейерный подъемник; ДЛП - дробильно-перегрузочный пункт. Lшт - протяженность штолни, км; Нш - глубина подъема из шахты, м; Нпп - глубина расположения перегрузочного пункта в карьере, м	При Lшт=2: Нпп=300, Qр= 2,6; Нпп=400, Qр=3.	При Нш=700: Нпп=300, Qр= 2,5; Нпп=400, Qр=2,9.	
					a) ОГР: КА → ПБ → НС → ПБ (ДЛП) → МК → ОФ ПГР: ПА → ПБ → НС → ПБ (ДЛП) → МК → ОФ б) ОГР: КА → ПБ → НС → ПБ → КА (Ж.д.) → ОФ ПГР: ПА → ПБ → НС → ПБ → КА (Ж.д.) → ОФ г) ПГР: КА → ПБ (ДЛП) → ККП → ПБ → КА (Ж.д.) → О	НС позволяет выдавать одновременно два вида горной массы. Приемный бункер на поверхности имеет два отделения: для руды и породы. Процесс дробления крупных кусков породы в карьере исключается.	При Lшт= 1: Нпп=200, Qр=1,8. Нпп=300, Qр= 2,4; Нпп=400, Qр=3.	При Нш= 600: Нпп=200, Qр=1,7. Нпп=300, Qр= 2; Нпп=400, Qр=2,8.	
					a) КА → ПБ (ДЛП) → МК → О б) КА → ПБ → НС → ПБ → КА (Ж.д.) → О	Qр - производственная мощность рудника, млн т/год; Ж.д. - железнодорожный транспорт; О - отвал; НС - наклонный склоновой подъемник; ВС - вертикальный склоновой подъемник; Р - рудоспуск; П - породоспуск; ЛК - ленточный конвейер, расположенный в подземной выработке	При Lшт=2: Нпп=300, Qр= 2,8; Нпп=400, Qр=3.	При Нш=700: Нпп=300, Qр= 2; Нпп=400, Qр=2,4.	
							При Lшт= 3: Нпп=400, Qр=3	При Нш= 750: Нпп=400, Qр=2,7	

Окончание рис. 4.34

Класс Схема вскрытия	Группа	Тип подъ- емника	Технологическая схема комбинированного транспорта		Особенности технологической схемы	Условия применения при разработке запасов, расположенных			
			Схема	рудная вскры- шная		выше уровня дна карьера	ниже уровня дна карьера		
II ГОРИЗОНТЫ КАРЬЕРА ВСКРЫТЫ ПОДЗЕМНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ	1	Конвейерный	II.1.		ОГР: КА → ДПП → ЛК → ОФ ПР: ПА → ДПП → ЛК → ОФ	Схема применяется в случаях: неустойчивых бортов карьера, склонных к оползанию; необходимости разрабатывать одновременно все борта карьера; отсутствия удобного места для размещения поверхностного подъемника, т.е. по планировочным соображениям; опасения повреждений при массовых взрывах и т.п. <i>OФ - обогатительная фабрика; РСК - сборочный конвейер для транспортирования руды в подземной выработке; ВСК - сборочный конвейер для транспортирования вскрышных пород в подземной выработке</i>	При Lшт= 1: Нпп=200, Qр=2,5. Нпп=300, Qр= 2,8; Нпп=400, Qр=3.	При Нш= 600: Нпп=200, Qр=2. Нпп=300, Qр= 2,5; Нпп=400, Qр=3.	
			II.2.		ОГР: КА → Р → РСК (Ж.Л.) → ВС → ПБ → ПР: ПА → Ж.Л. → (КА, МК) → ОФ	КА → ДПП → ЛК → МК → О	Для сокращения расстояния транспортирования горной массы к ВС верхняя часть средней зоны высотой 50-200 м отрабатывается существующим видом транспорта, напр., авто- ж.д. Расстояние транспортирования автосамосвалами не должно превышать 1,2 км. Схема позволяет строить и углублять вертикальные стволы независимо от ведения горных работ в карьере, удобна для перехода в перспективе на подземную разработку месторождения, создает возможность устройства подземного бункера достаточной вместимости, что позволяет увязывать работу скрапового подъема с внутрикарьерным транспортом. Возможно применение вертикальной конвейерной системы POCKETLIFT в шахтном стволе	При Lшт= 1: Нпп=200, Qр=2,5. Нпп=300, Qр= 2,8; Нпп=400, Qр=3.	При Нш=700: Нпп=300, Qр= 2,5; Нпп=400, Qр=2,9.
II Скраповой, конвейерная система Pocketlift	2		II.2.		ОГР: П → ВСК (Ж.Л.) → ВС → ПБ → ПР: ПА → Ж.Л. → (КА, МК) → О	КА → П → ВСК (Ж.Л.) → ВС → ПБ → → Ж.Л. → (КА, МК) → О	Для сокращения расстояния транспортирования горной массы к ВС верхняя часть средней зоны высотой 50-200 м отрабатывается существующим видом транспорта, напр., авто- ж.д. Расстояние транспортирования автосамосвалами не должно превышать 1,2 км. Схема позволяет строить и углублять вертикальные стволы независимо от ведения горных работ в карьере, удобна для перехода в перспективе на подземную разработку месторождения, создает возможность устройства подземного бункера достаточной вместимости, что позволяет увязывать работу скрапового подъема с внутрикарьерным транспортом. Возможно применение вертикальной конвейерной системы POCKETLIFT в шахтном стволе	При Lшт= 1: Нпп=200, Qр=2,2. Нпп=300, Qр= 2,7; Нпп=400, Qр=3.	При Нш= 600: Нпп=200, Qр=2,2. Нпп=300, Qр= 2,7; Нпп=400, Qр=3.
			II.2.		ОГР: П → ВСК (Ж.Л.) → ВС → ПБ → ПР: ПА → Ж.Л. → (КА, МК) → О	КА → П → ВСК (Ж.Л.) → ВС → ПБ → → Ж.Л. → (КА, МК) → О	Для сокращения расстояния транспортирования горной массы к ВС верхняя часть средней зоны высотой 50-200 м отрабатывается существующим видом транспорта, напр., авто- ж.д. Расстояние транспортирования автосамосвалами не должно превышать 1,2 км. Схема позволяет строить и углублять вертикальные стволы независимо от ведения горных работ в карьере, удобна для перехода в перспективе на подземную разработку месторождения, создает возможность устройства подземного бункера достаточной вместимости, что позволяет увязывать работу скрапового подъема с внутрикарьерным транспортом. Возможно применение вертикальной конвейерной системы POCKETLIFT в шахтном стволе	При Lшт= 2: Нпп=300, Qр= 2,6; Нпп=400, Qр=3.	При Нш=700: Нпп=300, Qр= 2,8; Нпп=400, Qр=3.

Выбор эффективной технологической схемы транспортирования горной массы при разработке запасов открыто-подземным способом основана на расчете затрат на создание схемы вскрытия закончурных запасов и транспортирование руды подземного рудника с учетом типа карьерного подъемника и производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере. Каждая технологическая схема транспортирования руды по карьерным подъемникам сопоставлена с технологической схемой транспортирования по вертикальным скиповым подъемникам, расположенным в стволах, пройденных с поверхности.

При оценке технологических схем принимались следующие условия: разработка закончурных запасов осуществляется подземным способом системами разработки с обрушением налегающих пород; расположение перегрузочного пункта в карьере рассматривалось на глубине 200, 300 и 400 м, при конечной глубине карьера до 600 м. Портал наклонного съезда предполагается пройденным в борту карьера. Технологическая схема транспортирования, следующая: подземные автосамосвалы транспортируют руду до перегрузочного пункта, расположенного на дне карьера, откуда карьерными автосамосвалами транспортируется до приемного бункера карьерного подъемника, по которому выдается на поверхность.

Технологические схемы транспортирования руды рассматривались для приконтурных и удаленных от контура карьера запасов, вскрытых наклонным съездом или штольней, пройденными с борта карьера. Запасы, расположенные выше уровня дна карьера, вскрываются штольней, ниже - наклонным съездом. Подробно методика расчетов представлена в монографии [59].

Варианты перемещения руды на поверхность при расположении перегрузочного пункта на дне карьера следующие:

I.1 – подземный автосамосвал (ПА) в наклонном съезде → перегрузочный пункт → карьерный конвейерный подъемник;

I.2 - ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → карьерный скиповой подъемник;

II.1 - ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → конвейер в наклонном стволе;

II.2 - ПА в наклонном съезде → ПА в штольне → перегрузочный пункт → скиповую подъемник в вертикальном стволе.

Таблица 4.4 – Условия применения технологических схем транспортирования горной массы

Наименование	Технологическая схема			
	1	2	3	4
Грузопоток	ограничается производительностью крутонаклонного подъемника карьера	ограничивается производительностью сколового конвейерного подъемника в карьере	ограничивается производительностью сколового конвейерного подъемника в подземных выработках	ограничивается производительностью сколового конвейерного подъемника в подземном руднике
Среднее расстояние транспортирования в карьере	до 2 км	до 1 км	до 4 км	до 2 км
Высота подъема	автотранспорт: с глубины 80 м до 140 м, железнодорожный транспорт: до глубины 50 м Более 100 м	от 150 до 400 м	более 100 м	с глубины 200 м до 400 м
Режим горных работ	должен быть увязан со сроками строительства и эксплуатации подъемника			
Относительные размеры карьера в плане	при угле наклона конвейера до 18° – вытанутые, более 18° – любые	небольшие (ограниченные)	любые	
Тип месторождения	для конвейера с простой лентой – глубинное для конвейера со специальной лентой – глубинное	глубинное	глубинное, нагорное, нагорно-глубинное	
Вскрывающие выработки	наклонные и крутые траншеи	наклонные траншеи и подземные выработки		
Система разработки	при ОГР – углубочная, предпочтительно однобортовая, для овальных карьеров в плане – периферийная, при ПГР – без ограничений при отсутствии взаимного геомеханического влияния при ведении горных работ (например, с закладкой выработанного пространства или системы с обрушением напластаний пород с оставлением цепиков на участках с подъемником на борту карьера)	углубочная однобортовая, двухбортовая, копцевая, центральная, периферийная	углубочная однобортовая, двухбортовая, копцевая, центральная	
Климатические условия	примущественно не холодный климат, либо устройство ганперей	отсутствует зависимость от климатических условий		
Крупность транспортируемого материала	кондиционный размер куска для вземочно-погрузочного оборудования	до 500 мм	до 1200 мм	
Трасса подъемника	для конвейера с простой лентой: при углах откоса борта до 18° подъемник проектируют по борту перпендикулярно линии бровки уступов (трасса прямая), при углах откоса борта карьера от 18 до 30° подъемник располагают диагонально линии бровки уступов (трасса прямая); при крутом падении месторождения – трасса ломаная с расположением конвейеров по спирали или на подобии серпантана; для конвейера со специальной лентой: подъемник проектируют по борту перпендикулярно линии бровки уступов, угол подъема до 90°	угол трассы 20-45°, устройство подъемника производится на нерабочем или временно нерабочем борту	угол наклона ствола 13-18°	подъемник размещается в вертикальном склоновом стволе
Тяговый орган	собственный привод	подъемная машина	собственный привод	подъемная машина
Перегрузка на верхней и нижней станциях	может и не существовать	существует	может и не существовать	существует

Сравнение перечисленных вариантов схем выполнено со следующими транспортными схемами:

3 - ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → карьерный автосамосвал;

4 – ПА (ж.д. транспорт или конвейер) в квершлаге → перегрузочный пункт → скиповoy подъемник в шахтном стволе, пройденном с поверхности;

5 – ПА (ж.д. транспорт или конвейер) в квершлаге → перегрузочный пункт → скиповoy подъемник в существующем шахтном стволе после углубления.

Для всех рассматриваемых вариантов система разработки подземного рудника принята одинаковой, поэтому затраты по системе разработки также одинаковые, отличие в схемах составляют затраты на создание и эксплуатацию системы вскрытия. В расчетах использовались условные эксплуатационные затраты на добычу руды, учитывающие капитальные затраты через амортизационные отчисления, а также эксплуатационные затраты на функционирование системы вскрытия.

По результатам исследований, установлены зависимости условных эксплуатационных затрат на добычу 1 т руды от глубины шахты для запасов, расположенных ниже уровня дна карьера (рис. 4.37 а) и протяженности штольни для запасов, расположенных выше уровня дна карьера (рис. 4.37 б).

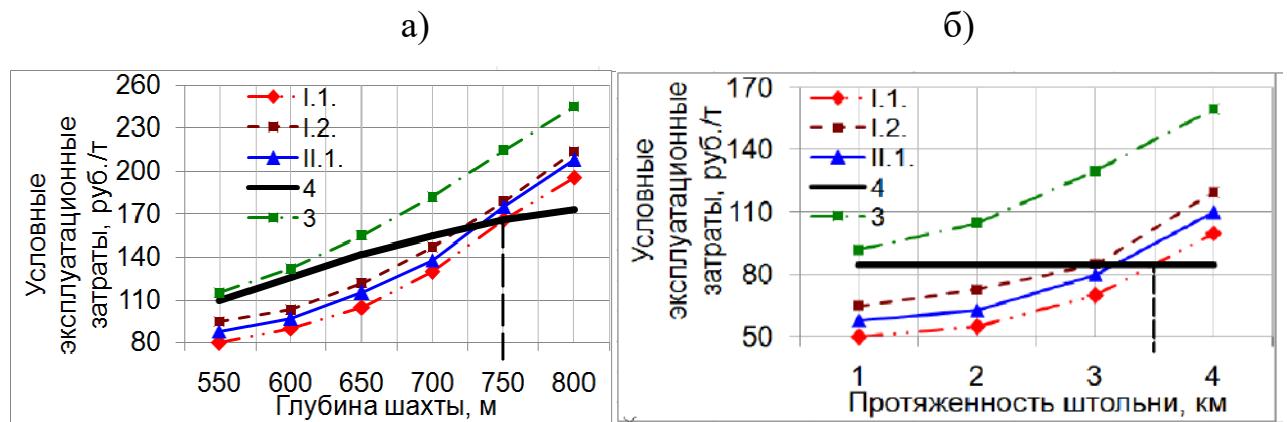


Рисунок 4.37 - Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды от: а) глубины шахты, б) протяженности штольни

Для определения влияния глубины расположения перегрузочного пункта в карьере на эффективность применения транспортных схем получены зависимости условных эксплуатационных затрат на добычу 1 т руды от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере (рис.

4.38, 4.39). В случае расположения запасов ниже дна карьера на глубине до 750 м транспортирование руды целесообразно по подземному наклонному съезду, пройденному из карьерного пространства, и карьерному подъемнику при производственной мощности рудника до 3 млн. т/год (рис. 4.38).

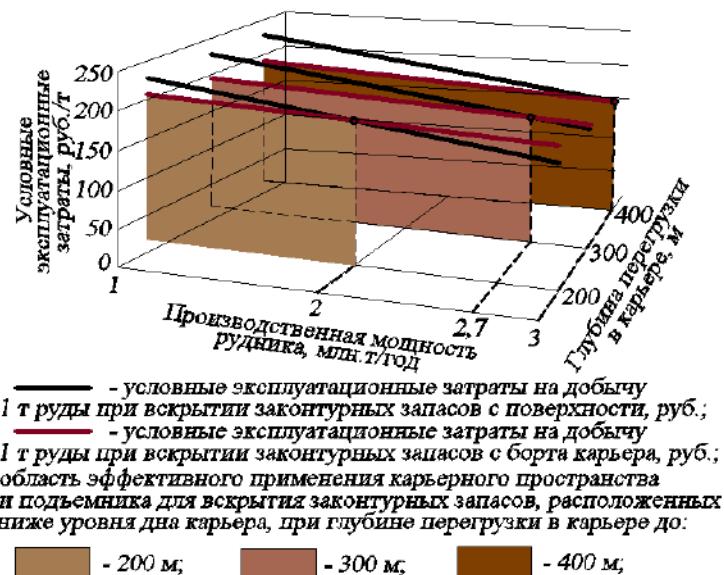


Рисунок 4.38 - Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере

Чем ближе ко дну карьера располагается перегрузочный пункт, тем эффективнее применение предлагаемых схем транспортирования. Это связано с тем, что руда из подземных выработок до перегрузочного пункта в карьере доставляется автосамосвалами, являясь самым дорогостоящим звеном во всей транспортной схеме. Поэтому сведя к минимуму расстояние транспортирования автосамосвалами, предлагаемые схемы становятся наиболее эффективными. Данное обстоятельство прослеживается по парам значений таблицы 4.5, составленной на основании графика (рис. 4.38), т.е. чем больше производственная мощность рудника, тем больше должна быть глубина расположения перегрузочного пункта в карьере. Справедлива также и обратная зависимость: чем меньше производственная мощность рудника, тем ближе к дневной поверхности может располагаться перегрузочный пункт в карьере.

Таблица 4.5 - Условия применения технологических схем транспортирования руды с использованием карьерного подъемника для запасов, расположенных ниже уровня дна карьера

Производственная мощность рудника, млн. т/год	до 2	до 2,7	до 3
Глубина расположения перегрузочного пункта в карьере, м	до 200	до 300	до 400

При расположении запасов выше уровня дна карьера на расстоянии до 3,5 км от поверхности откоса борта карьера и производственной мощности рудника до 3 млн. т/год (рис. 4.39) транспортирование руды целесообразно по карьерному подъемнику при вскрытии штольней с борта карьера.

Сочетание пар значений производственной мощности рудника с глубиной перегрузки в карьере приведено в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Условия применения технологических схем транспортирования руды с использованием карьерного подъемника для запасов, расположенных выше уровня дна карьера

Производственная мощность рудника, млн. т/год	до 1,5	до 2,7	до 3
Глубина расположения перегрузочного пункта в карьере, м	до 200	до 300	до 400

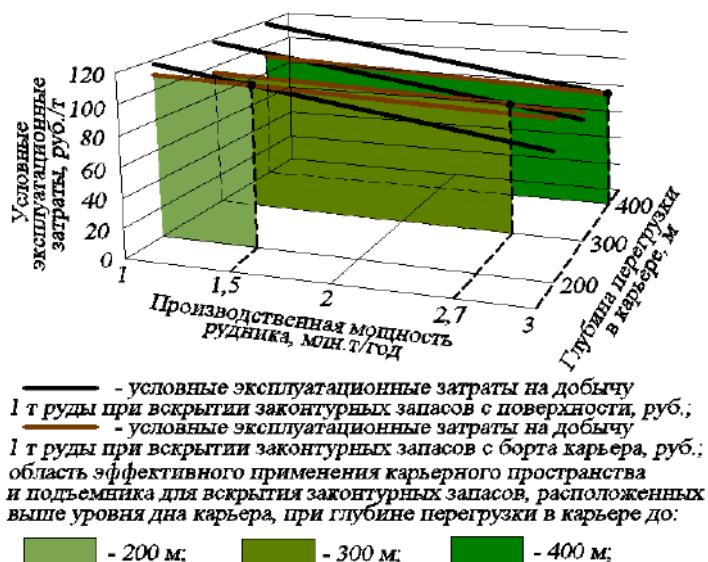


Рисунок 4.39 - Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере

Выполненные в [107] исследования доказали эффективность схем вскрытия с использованием карьерного пространства со следующими параметрами:

при вскрытии запасов, расположенных ниже уровня дна карьера - предельная глубина эффективного применения технологической схемы до 600 м; максимальная глубина подъема по подземному наклонному съезду до 200 м;

при вскрытии запасов, расположенных выше уровня дна карьера - максимальная удаленность запасов от поверхности борта карьера до 2 км;

в обоих случаях максимальная производственная мощность рудника до 2 млн т/год.

Недостатком рассмотренных выше схем, является достаточно большая доля

перевозок горной массы автосамосвалами. Совершенствование данных схем возможно путем замены автосамосвалов в откаточных выработках на транспорт непрерывного действия, который доставляет рудную массу до главного рудоподъемного ствола, перегружает ее в средства транспорта, предназначенные для подъема на поверхность. Были рассмотрены две технологические схемы вскрытия с циклично-поточной и поточной схемой транспортирования горной массы при открыто-подземной разработке месторождений (рис. 4.40). На рис. 4.40а перегрузка из конвейерного транспорта осуществляется в скиповую, далее скиповую транспорт транспортирует рудную массу на поверхность. Областью применения данной технологической схемы является разработка месторождений на больших глубинах, когда проходка наклонного конвейерного ствола для создания поточной технологии является нецелесообразной из-за большого объема горно-строительных работ и выхода устья наклонного ствола на поверхность на значительном удалении от промплощадки рудника. Ограничением в применении данной схемы вскрытия в плане обеспечения заданной производительности предприятия будет являться производительность скипового подъемника.

На рис. 4.40б представлена схема вскрытия, предусматривающая доставку рудной массы конвейером до подъемного ствола, оснащенного системой ROCKETROPE, по которой рудная масса транспортируется до перегрузочного пункта в карьере, где перегружается в крутонаклонный подъемник, расположенный на борту карьера. Преимуществами данной схемы являются: возможность обеспечения производительности предприятия в широком диапазоне, так как применяется самый высокопроизводительный транспорт; минимальные затраты на проходку и проветривание выработок. К недостаткам можно отнести наличие двух перегрузочных пунктов. Результаты расчета затрат по рассматриваемым схемам представлен на рис. 4.41.

Предложенные технологические решения существенно повлияют на продолжительность переходного периода, а также на технико-экономические показатели функционирования горнодобывающего предприятия на этапе доработки карьера и последующий этап разработки. Предлагаемые технологические схемы с карьерными подъемниками направлены не только на улучшение технико-экономических показателей

текущего этапа разработки, но и последующего и в перспективе через этап эксплуатации. Это позволит добиться более устойчивого функционирования горнодобывающего предприятия в рыночной среде.



Рисунок 4.40 – Технологические схемы циклическо-поточной и поточной технологии при открыто-подземном способе разработки при расположении конвейера в подземных выработках: а - ПА в наклонном съезде → перегрузочный пункт → автосамосвал в карьере; б - конвейерная система РОСКЕТРОПЕ Тип III → перегрузочный пункт → карьерный конвейерный подъемник; в - ПА в наклонном съезде перегрузочный пункт → карьерный подъемник на борт карьера

Результаты выполненного технико-экономического сравнения вариантов системы вскрытия, которые предлагается реализовывать в переходный период от открытого к открыто-подземному и подземному способам разработки представлены в табл. 4.7. Данные технологические решения расширяют существующие методические основы формирования системы вскрытия при освоении глубоких горизонтов круто-падающих месторождений.

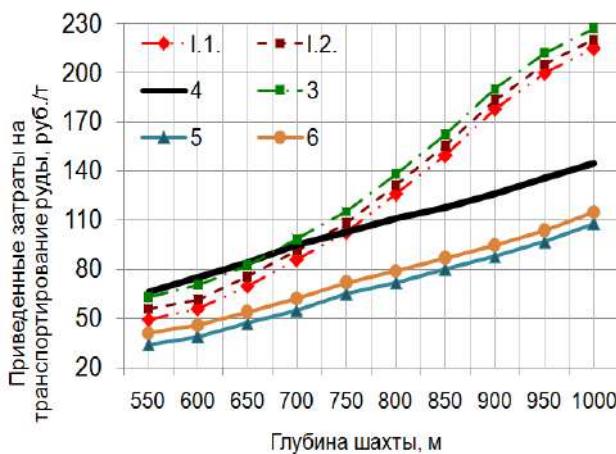


Рисунок 4.41 - Зависимость приведенных затрат на транспортирование руды от глубины шахты

Таблица 4.7 - Область применения предлагаемых систем вскрытия

Параметр	Технология		
	Сочетание циклической технологии в подземном руднике и циклической в карьере	Сочетание циклической технологии в подземном руднике и циклическо-поточной в карьере	Сочетание поточной технологии в подземном руднике и поточной в карьере
Предельная глубина эффективного применения технологической схемы	до 600 м	до 750 м	до 1000 м и более
Максимальная глубина подъема по подземному наклонному съезду	до 200 м	до 350 м	-
Максимальная производственная мощность рудника	до 2 млн т/год	до 3 млн т/год	до 60 млн т/год и более

Разработанные технологические схемы не исключают наличие автомобильных съездов для обслуживания перегрузочного пункта и подземного рудника, это ограничивает возможность применения систем подземной разработки с обрушением пород, т.к. было ранее сказано, что транспортные съезды могут охватывать до 100 % периметра карьера, соответственно необходимо их поддерживать и оставлять рудные целики. Сосредоточенность всех грузопотоков по крутонаклонной вскрывающей выработке позволит расширить возможности систем с обрушением вмещающих пород и исключить необходимость поддержания системы автотранспортных берм.

Выводы

- определено, что устойчивость функционирования горнодобывающего предприятия достигается поддержанием постоянной производительности по руде в переходный период и последующий этап разработки. Устойчивость

функционирования снижается из-за существенно возрастающей приведенной транспортной работы, увеличением объема выемки вскрытых пород при разносе бортов карьера. Для условий вскрытия и отработки запасов глубоких горизонтов повышение экономической эффективности и устойчивости функционирования предприятия обеспечивается развитие циклично-поточной технологии транспортирования горной массы путем увеличения доли поточной откатки;

- определен наиболее целесообразный шаг переноса перегрузочного пункта, соответствующий глубине этапа вскрытия. Для условий высокопроизводительных карьеров, разрабатывающих мощные крутопадающие месторождения с низким содержанием полезных компонентов шаг переноса находится в диапазоне 170-200 м;

- разработаны технологические решения по увеличению интенсивности производства горных работ на отдельных участках карьера изменением конструкции рабочей зоны путем перехода на высокие уступы, позволяющие развивать ЦПТ транспортирования горной массы не только на текущем, но и на последующем этапах отработки. Предложенные решения позволяют сократить срок начала функционирования новых перегрузочных пунктов на 5-7 лет и, соответственно, в 1,5-1,8 раза ускорить запуск новых конвейерных линий по сравнению с вариантом равномерного развития рабочей зоны в карьере;

- установлено, что объемы разноса бортов карьера зависят от таких параметров системы вскрытия, как ширина транспортной бермы, форма трассы капитальных траншей и тип применяемого автосамосвала. Значительное разнообразие производителей карьерных автосамосвалов, поставляющих продукцию на карьеры России, усложняют принятие решений по обоснованию параметров системы вскрытия в переходный период. Результаты расчетов показали, что в зависимости от класса для различных моделей карьерных самосвалов ширина транспортной бермы различается на 5-20%;

- разработан программный комплекс «Программа расчета параметров транспортной бермы и прирезаемых объемов горной массы» для ЭВМ. Основными функциями Программы являются: расчет основных параметров карьерной автомобильной дороги на основе следующих исходных данных: тип схемы движения (однополосная, однополосная с возможностью разъезда, двухполосная); категорию дороги (1к, 2к, 3к); наличие технологических коммуникаций (водоотливная канава); учет влияния физико-механических свойств пород (возможное наличие призмы

обрушения); технико-эксплуатационные параметры автомобиля самосвала (диаметр колеса, габаритные размеры автомобиля); построение графической модели транспортной бермы (поперечный разрез); оценка влияние габаритов разных моделей автосамосвалов на объемы горных работ и стоимость их проведения;

- определено, что при периоде от открытого способа разработки к подземному затраты существенно возрастают в связи с проходкой вскрывающих выработок и оснащения их транспортными средствами и увлечением транспортной работы по доставке рудной массы. Для сокращения капитальных затрат на формирование системы вскрытия при переходе на подземный способ разработки и сокращения продолжительности переходного периода целесообразно рассмотреть возможность создания новой системы вскрытия карьера с использованием подъемников различных типов;

- установлено, что эффективное использование карьерных подъемников при комбинированной разработке месторождений может осуществляться в трех режимах: 1) сокращением времени использования подъемников при наличии площадки в карьере для размещения рудного склада; 2) снижением скорости движения конвейерной ленты (скипов) в случае отсутствия свободной площадки; 3) заменой электродвигателей подъемников в соответствии с производственной мощностью предприятия;

- установлены зависимости эксплуатационных затрат от параметров системы вскрытия с применением карьерных подъемников, формируемых до дна карьера, при переходе к открыто-подземному способу разработки место-рождения, которые позволяют расширить область применения системы вскрытия с ЦПТ транспортирования руды через карьерное пространство удаленных от контуров карьера запасов: расположенных в борту карьера - с 2 до 3,5 км; расположенных ниже уровня дна карьера – с 600 до 750 м, по сравнению с цикличной технологией транспортирования. При использовании поточной технологии доставки рудной массы в поземном руднике в сочетании с поточной технологией в карьере производительность подземного рудника ограничивается только возможностями подъемников.

5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЭТАПНОГО ВСКРЫТИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

5.1 Разработка конструкции карьерной вскрывающей выработки для подземного рудника

При переходе на открыто-подземный и подземный способ разработки на месторождении выработанное карьерное пространство часто используется для обслуживания подземного рудника. При этом по карьерным автодорогам может осуществляться как транспортирование рудной массы из подземного рудника, так и доставка оборудования и материалов в подземный рудник. В первом случае карьер с существующей схемой вскрытия используется как вскрывающая выработка для подземного рудника, во втором случае как вспомогательная выработка. Для глубоких карьеров окружной формы часто используется спиральная форма трассы карьерных автодорог с соответствующим заложением вскрывающих выработок (рис. 5.1). Для карьеров сложной формы используются комбинированные формы трасс простых с петлевыми, простыми и спиральными (рис. 5.2).

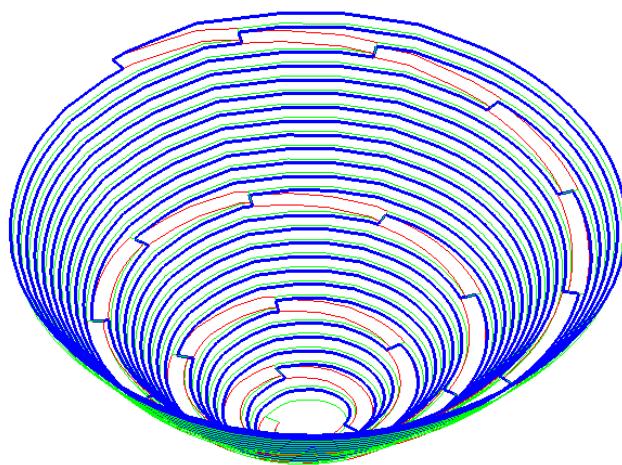


Рисунок 5.1 – Карьер со спиральной формой трассы

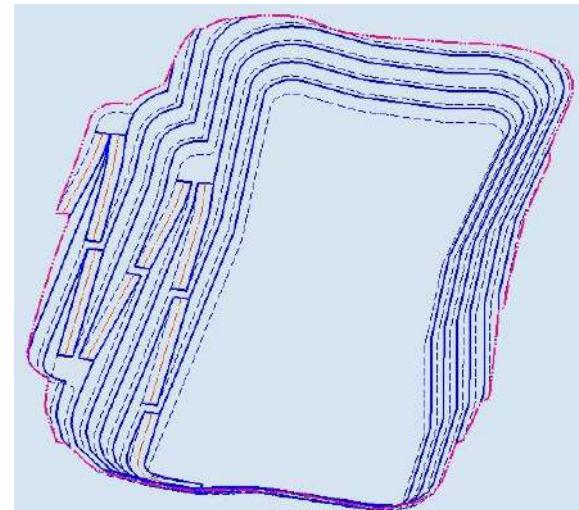


Рисунок 5.2 – Карьер с комбинированной формой трассы

При применении для подземной разработки систем с обрушением пород в зону сдвижения может попадать частично или полностью пространство карьера. Для

сохранения транспортных коммуникаций потребуется оставлять целики. При спиральной форме трассы для движения автосамосвалов от поверхности до перегрузочного пункта в карьере вскрывающими выработками охватывается до 100% пространства карьера, при петлевой и сложной форме трассы 50-70%. В таких условиях большую часть запасов полезного ископаемого, находящегося ниже проектного дна карьера, необходимо законсервировать для обеспечения транспортного доступа в подземный рудник по карьерным автодорогам.

Переход к системе вскрытия с крутонаклонными карьерными подъемниками также должен приближение обеспечивать приближение к максимально возможным значениям по техническим, технологическим, экологическим и социальным параметров при определении критерия эффективности $K_{\text{есв}}$. Наличие вскрывающих выработок для движения автомобильного транспорта в схемах с циклично-поточной технологией существенно снижает показатель по объемам вскрывающих выработок входящий в расчет критерия эффективности. В переходный период от открытого к подземному способу разработки предлагается формировать схему вскрытия таким образом, чтобы на стадии подземной разработки использовалась ранее созданная схема с карьерным подъемником, размещенным на борту карьера без необходимости поддержания системы карьерных вскрывающих выработок для автомобильного транспорта. При этом, в переходный период, формируется горнотехническая конструкция, которая представляет собой карьерный подъемник, соединенный единым приводом с подъемным устройством, обслуживающим подземный рудник (рис. 5.3). Данное подъемное устройство позволяет производить подъем и спуск оборудования и материалов для подземного рудника без использования автотранспорта и автомобильных карьерных съездов. Материалы, необходимые для обеспечения работы подземного рудника могут опускаться в специально оборудованных емкостях на пневмоколесном ходу, оборудование опускается целиком, либо по отдельным составным элементам также на колесном ходу. На данный вид конструкции был получен патент на полезную модель [173]. Также данные результаты опубликованы в [30, 40].

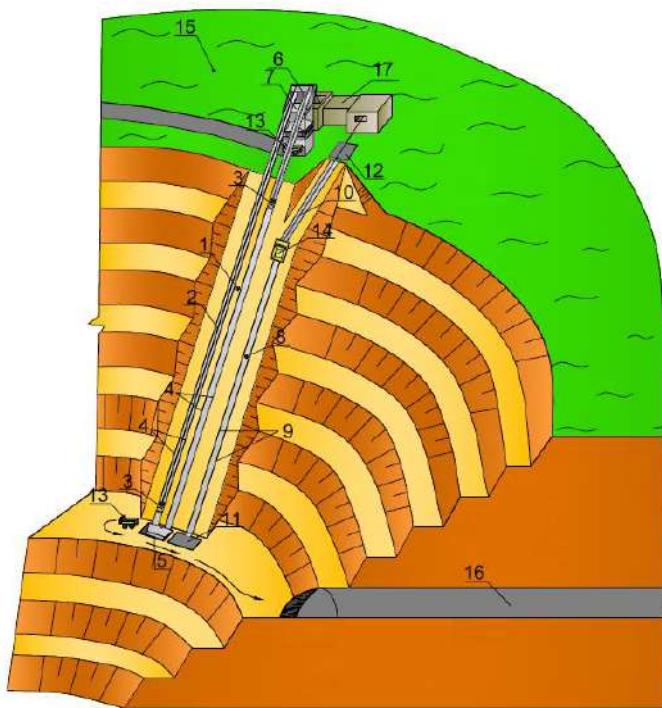


Рисунок 5.3 - Карьерная вскрывающая выработка со скиповым подъемом: 1 - скиповое подъемное устройство; 2 - стальной канат скипового подъемного устройства; 3 - скипы; 4 - наклонные рельсовые пути; 5 - погрузочный бункер; 6 - разгрузочная башня; 7 - разгрузочный бункер; 8 - подъемное устройство; 9 - направляющие для шахтного оборудования; 10 - стальной канат подъемного устройства; 11 - площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 12 - площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 13 - автосамосвал с породой из рудника; 14 - самоходное транспортное оборудование; 15 - поверхность; 16 - подземная выработка

Предлагаемая карьерная вскрывающая выработка представляет собой карьерный подъемник, который на поверхностном приводном комплексе соединяется в единый привод, через фрикционную муфту, с подъемным устройством, предназначенным для обслуживания внутрикарьерного перегрузочного комплекса, в том числе подземного рудника, имеющего транспортный доступ в карьер (рис. 5.4).

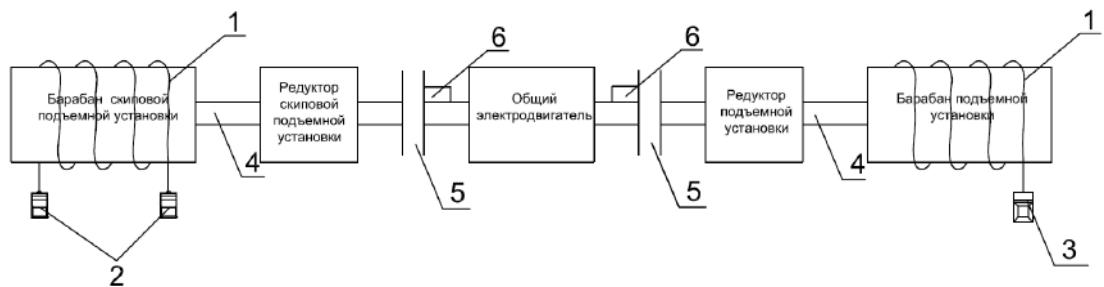


Рисунок 5.4 – Схема привода предлагаемой вскрывающей выработки со скиповым подъемом: 1 – канат; 2 – скипы; 3 - перемещающее самоходное шахтное оборудование; 4 - соединительные валы; 5 - фрикционные муфты; 6 - аварийный тормоз

Сколовой подъемник и подъемное устройство, обслуживающее перегрузочный пункт, имеют единый электропривод, но раздельные редукторы и барабаны для

каната. Управление приводом и фрикционной муфтой позволяет организовать совместную работу данных устройств. Таким образом, карьерный скреперный подъемник и подъемное обслуживающее устройство находятся в функционально-конструктивном единстве. Для спуска персонала могут использоваться специальные кабины типа вахтовых автобусов, без необходимости самостоятельного привода. Данные кабины зацепляются за приводной канат и спускаются или поднимаются при помощи канатного привода на поверхности. Перемещение по выровненной поверхности крутой траншеи производится на собственном пневмоколесном ходу. Аналогично спускается и поднимается самоходное оборудование. Для спуска крупногабаритного оборудования, а также материалов необходимо использовать специальные платформы закрытого, либо открытого типа также на пневмоколесном ходу. Зацепка и отцепка кабин, платформ и оборудования осуществляется персоналом предприятия.

Для формирования данной вскрывающей выработки потребуется увеличить ширину крутой траншеи для размещения направляющих. Объем крутой траншеи для предлагаемой вскрывающей выработки будет зависеть от ее ширины, угла наклона ее относительно угла наклона борта карьера, на котором она располагается и глубины расположения перегрузочного пункта в карьере (рис. 5.5).

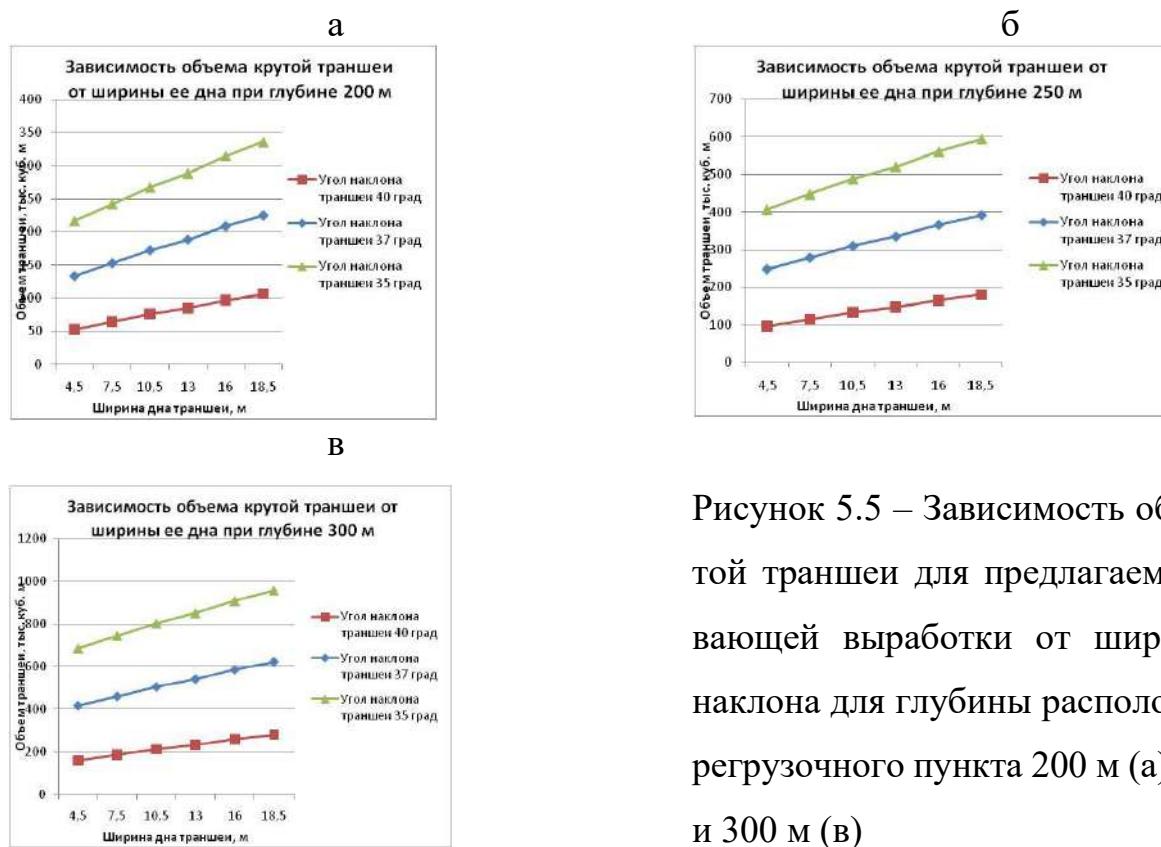


Рисунок 5.5 – Зависимость объема крутой траншеи для предлагаемой вскрывающей выработки от ширины, угла наклона для глубины расположения перегрузочного пункта 200 м (а), 250 м (б) и 300 м (в)

При проектировании подъемников на борту карьера, оборудованных на опорах, возможно данную вскрывающую выработку оборудовать без проходки крутой траншеи. В данном случае, участок выработки, предназначенный для подъема транспортных средств, обслуживающих подземный рудник, оборудуется на направляющих, закрепленных на уступах. Направляющие оборудуются с целью обеспечение возможности перемещения по ним пневмоколесной техники (рис. 5.6). Исходя из габаритов планируемого к перемещению по вскрывающей выработке оборудованию рассчитывается и дополнительная ширина крутой траншеи и параметры направляющих на борту.

Вскрывающая выработка, представленная на рис. 5.6 может оборудоваться крутонаклонным конвейером с прижимной лентой или ленточным конвейером со специальной лентой.

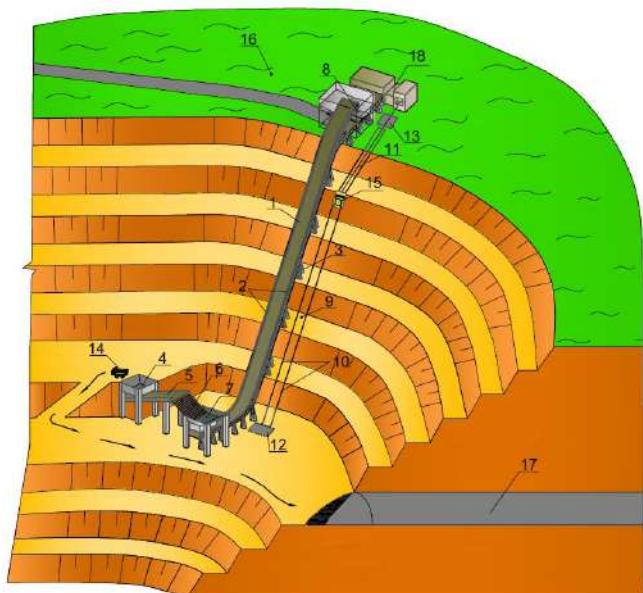


Рисунок 5.6 - Карьерная вскрывающая выработка с конвейерным подъемником на опорах: 1 - конвейерная лента; 2 - направляющие конвейера; 3 – опоры; 4 - погрузочный бункер; 5 - ленточный питатель; 6 – грохот; 7 – дробилка; 8 - разгрузочный бункер; 9 - подъемное устройство; 10 - направляющие для шахтного оборудования; 11 - стальной канат подъемного устройства; 12 - площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 13 - площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 14 – автосамосвал; 15 - самоходное транспортное оборудование; 16 – поверхность; 17 - подземная выработка; 18 - общий электропривод

При применении перспективного для глубоких карьеров шевронного трубчатого конвейера «Chevron-MegaPipe Conveyor» [156, 320] проектирование единой схемы вскрытия в переходный период от открытого к подземному способу разработки возможен по двум схемам. В первом случае (рис. 5.7 а и б) переход к единой схеме вскрытия аналогичен схемам 5.3 и 5.6, когда перегрузочный пункт для подземного рудника расположен на площадке в карьере и с этой же площадки осуществляется обслуживание подземного рудника через подъемное устройство. Второй вариант

предусматривает наращивание конвейера с вводом его непосредственно в подземные выработки (рис. 5.8 а и б), что позволит улучшить условия эксплуатации подземного рудника путем сокращения доли автотранспортных перевозок, соответственно, сократив сечение и объемы вскрывающих выработок и затраты на вентиляцию.

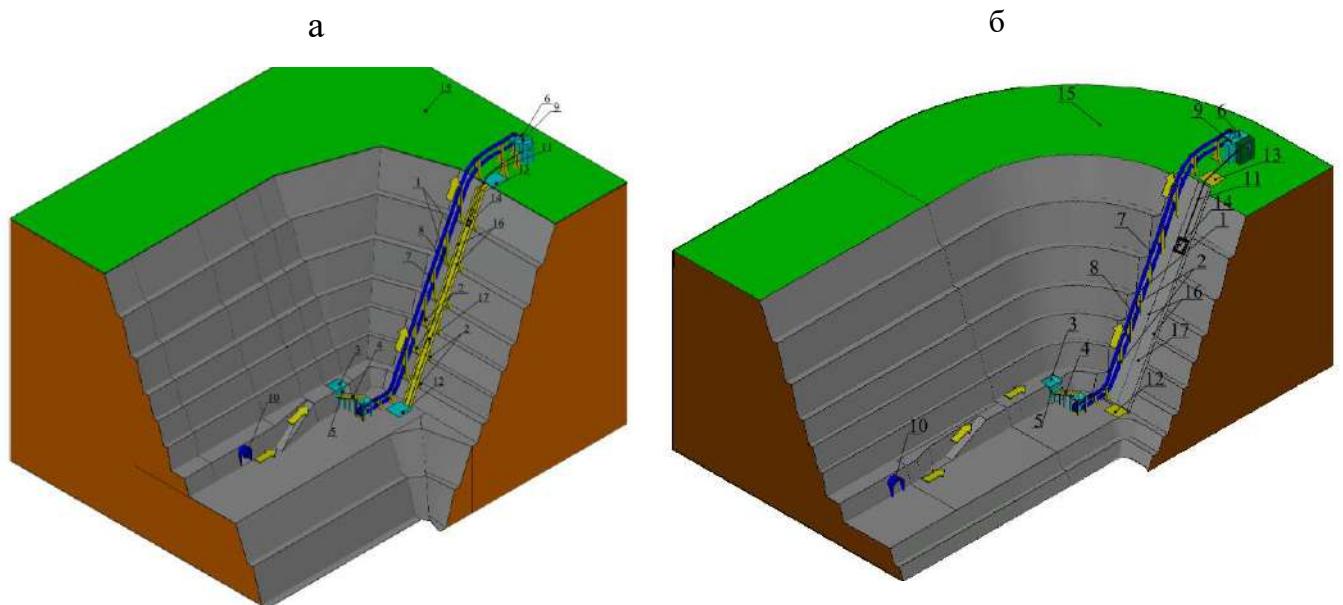


Рисунок 5.7 - Карьерная вскрывающая выработка с конвейерным подъемником «Chevron-MegaPipe Conveyor» и подъемным устройством на опорах (а) и в крутой траншее (б): 1 - конвейерная лента; 2 – опоры; 3 - погрузочный бункер; 4 - ленточный питатель; 5 – дробилка; 6 - разгрузочный бункер; 7 - верхняя ветвь; 8- нижняя ветвь; 9 - общий электропривод; 10 - подземная выработка; 11-стальной канат подъемного; устройства; 12 - площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 13 - площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 14 - самоходное транспортное оборудование; 15 – поверхность; 16-направляющие шахтного оборудования; 17-подъемное устройство

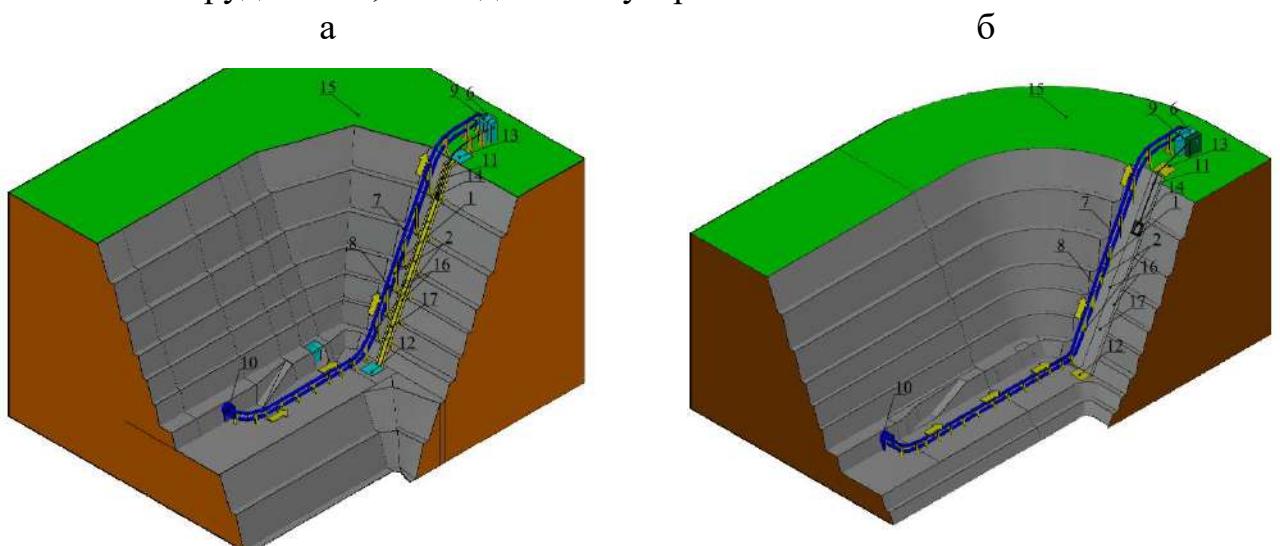


Рисунок 5.8 - Карьерная вскрывающая выработка с конвейерным подъемником «Chevron-MegaPipe Conveyor» введенным в подземные выработки и подъемным устройством на опорах (а) и в крутой траншее (б): 1 - конвейерная лента; 2 – опоры;

6 - разгрузочный бункер; 7 - верхняя ветвь; 8- нижняя ветвь; 9 - общий электропривод; 10 - подземная выработка; 11-стальной канат подъемного устройства; 12 - площадка приема и подачи оборудования на нерабочем борту карьера; 13 - площадка приема и подачи оборудования на поверхности; 14 - самоходное транспортное оборудование; 15 – поверхность; 16-направляющие шахтного оборудования; 17-подъемное устройство

Для условий использования карьерной вскрывающей выработки с конвейерным подъемником привод будет представлять собой конструкцию схематично изображенную на рис. 5.9.

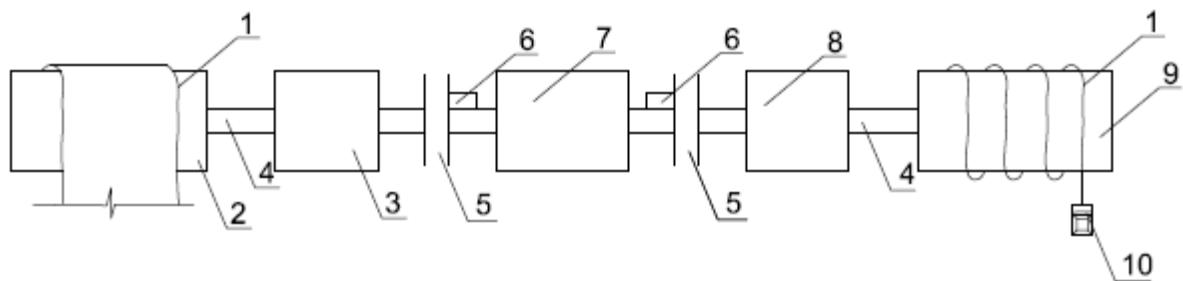


Рисунок 5.9 – Схема привода предлагаемой вскрывающей выработки со скиповым подъемом: 1 – конвейерная лента; 2 – барабан конвейерного подъемника; 3 – редуктор конвейерного подъемника; 4 - соединительные валы; 5 - фрикционные муфты; 6 - аварийный тормоз; 7 – общий электродвигатель; 8 – редуктор подъемной установки; 9 – барабан подъемной установки; 10 - перемещающее самоходное шахтное оборудование

Для систем подземной разработки с обрушением пород, использование предлагаемой вскрывающей выработки предполагает оставление целика только на участке борта, где располагается подъемник. Таким образом, предлагаемая вскрывающая выработка и транспортный комплекс, размещенный в ней, позволит повысить эффективность перспективного открыто-подземного способа разработки месторождений твердых полезных ископаемых, путем использования единой вскрывающей карьерной выработки, объединяющей функции транспортирования горной массы и обслуживания подземного рудника без необходимости сохранения и поддержания карьерных автотранспортных коммуникаций.

Для оценки влияния предлагаемой вскрывающей выработки на сокращение объемов вскрышных работ в карьере, а также увеличения возможной глубины открытых горных работ в переходный период на открыто-подземный способ

разработки за счет сработки транспортных берм выше уровня перегрузочного пункта, было проведено моделирование на условной модели карьера имеющего окружную (рис. 5.10 а и б) и вытянутую (рис. 5.10 в) формы в плане, с простой формой трассы (рис. 5.10 а, б, в) и сложной (рис. 5.10 г).

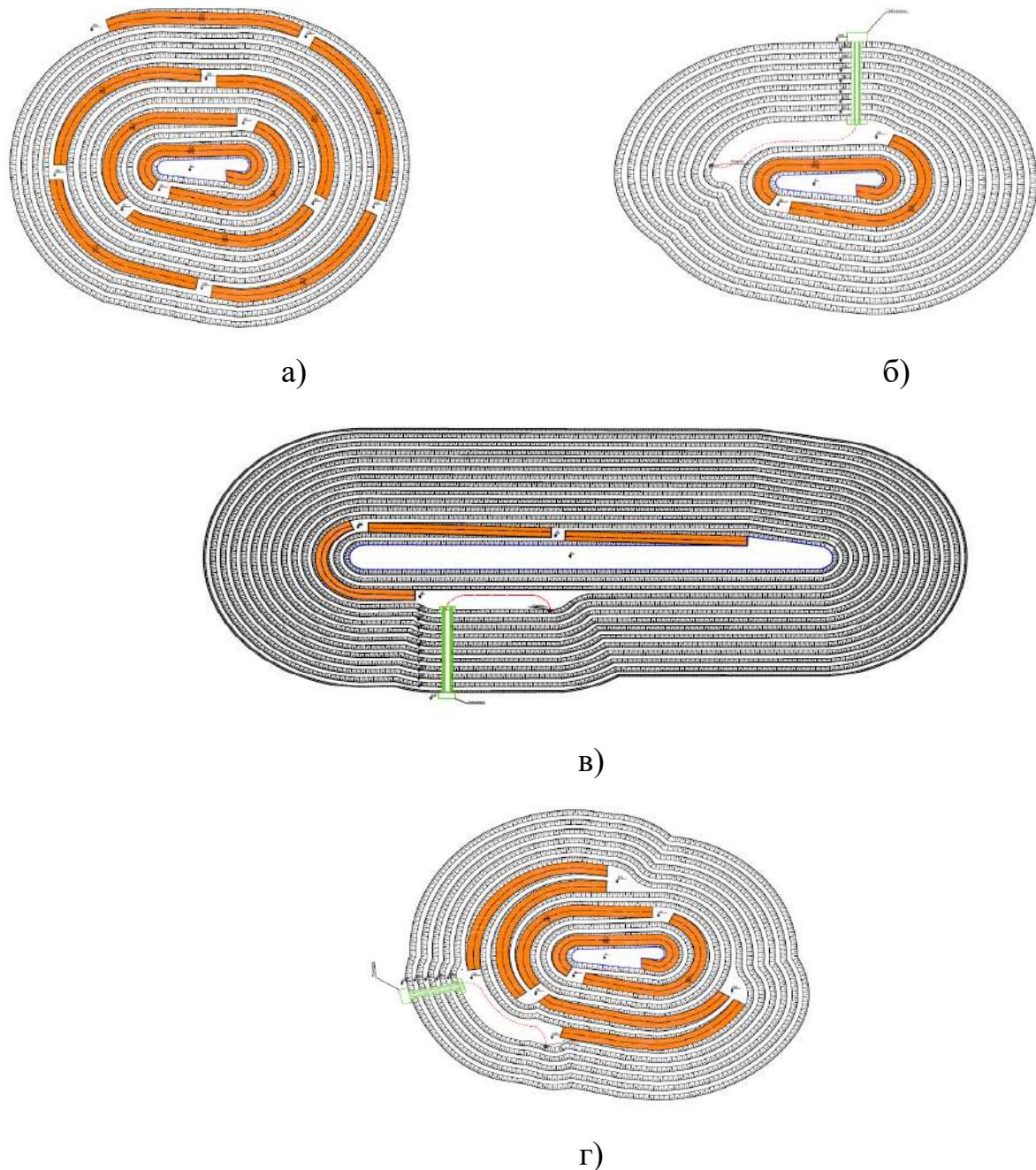


Рисунок 5.10 - Карьерное пространство, сформированное в переходный период с предлагаемой карьерной вскрывающей выработкой: а) карьер окружной формы с простой формой трассы без вскрывающей выработки (базовый вариант); б) карьер окружной формы с простой формой трассы и предлагаемой вскрывающей выработке в карьере; в) карьер вытянутой формы с простой формой трассы и вскрывающей выработке в карьере; г) карьер окружной формы со сложной формой трассы и вскрывающей выработки в карьере

Целью исследований было определение влияния системы вскрытия, а именно, формы трассы и глубины ввода в карьер предлагаемой вскрывающей выработки, на объемы вскрышных работ. Формирование предлагаемой карьерной вскрывающей выработки позволяет отказаться от системы автомобильных съездов с поверхности до перегрузочного пункта, т.к. все грузы будут перемещаться на поверхность по вскрывающей выработке. Это позволит, сохранив верхнюю границу карьера, в период реконструкции отработать участки бортов, на которых размещались карьерные транспортные коммуникации и углубить карьер без разноса борта карьера. Углубка карьера позволит вовлечь в отработку запасы руды, расположенные ниже дна карьера, с минимальным коэффициентом вскрыши (рис. 5.11).

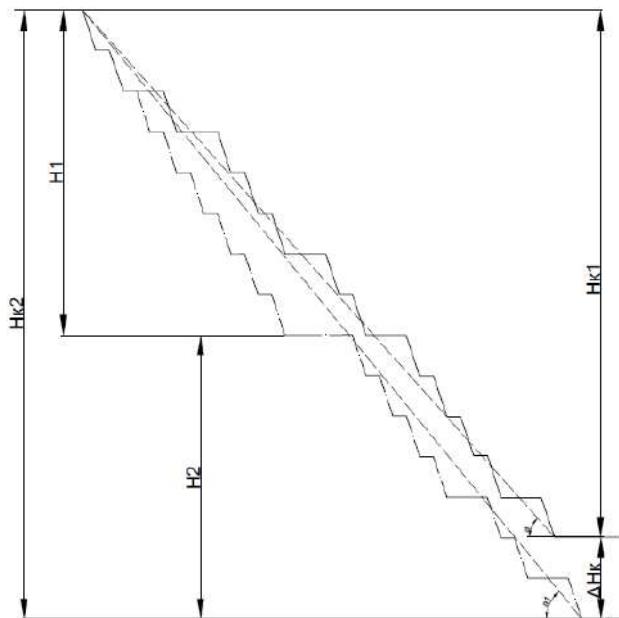


Рисунок 5.11 – Изменение конструкции борта карьера при размещении карьерной вскрывающей выработки: H_{k1} – конечная глубина карьера по проекту разработки; H_{k2} – конечная глубина карьера после реконструкции с использованием вскрывающей выработки; $H1$ – глубина расположения перегрузочного пункта; $H2$ – глубина карьера с использованием системы автомобильных съездов; ΔH_k – приращение глубины карьера при реконструкции с использованием вскрывающей выработки; α и α_1 – угол наклона борта карьера до реконструкции и после соответственно

В ходе исследований рассматривались различные варианты формы трассы, глубины расположения перегрузочного пункта и глубины карьера на конец отработки для карьеров окружной и вытянутой формы в плане. Результаты исследований

представлены на рис. 5.12.

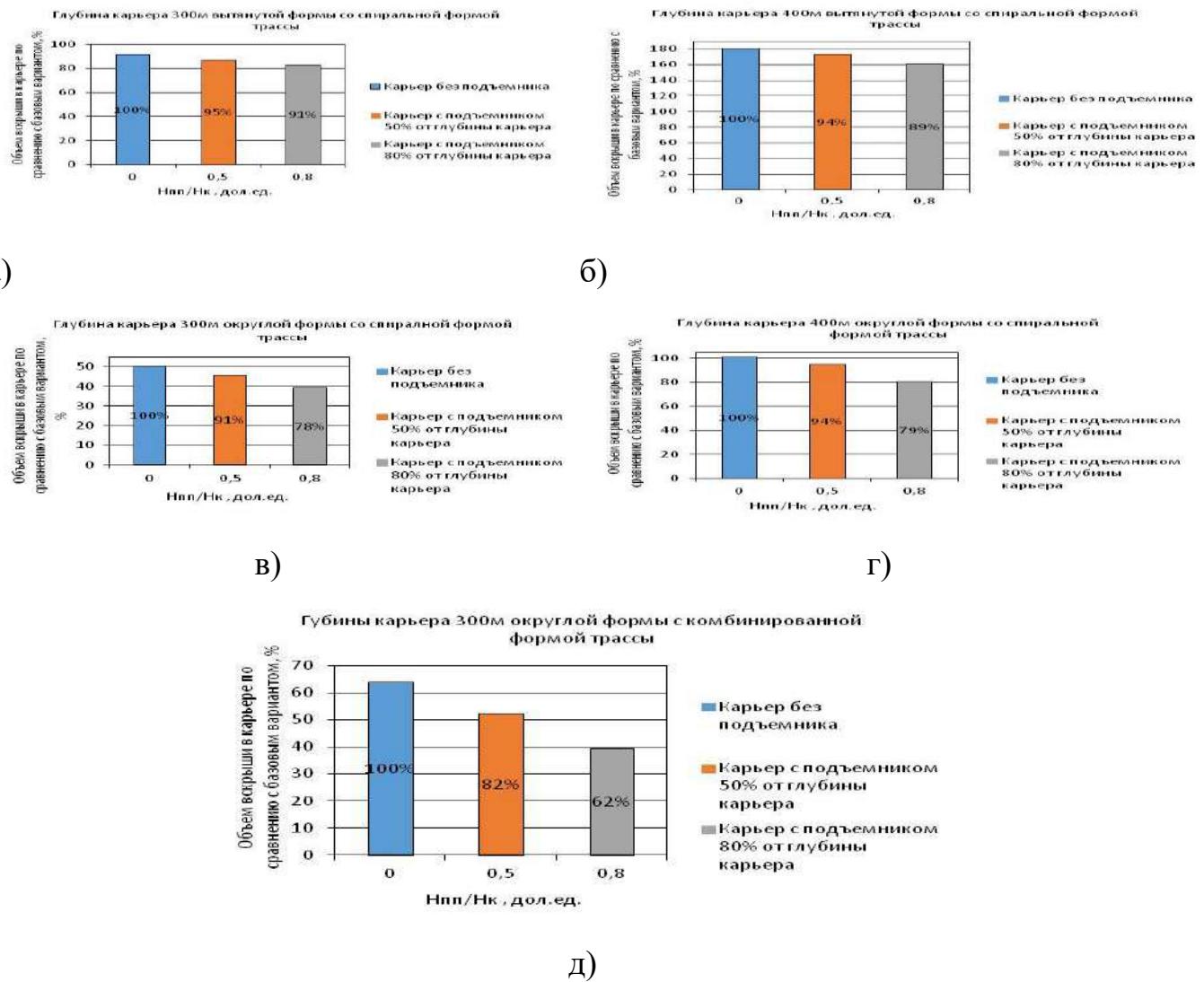


Рисунок 5.12 - Зависимости объема вскрышных работ в карьере для различных вариантов расположения вскрывающей выработки по глубине и формы карьера в плане

Для определения величины прироста глубины карьера за счет отработки транспортных берм выше уровня расположения перегрузочного пункта было выполнено моделирование для моделей представленных на рис. 5.10 условиями изменения конструкции бортов, представленных на рис. 5.11. При моделировании различия горнотехнических условий карьеров учитывалось величиной угла откоса нерабочего борта. Изменялась также конечная глубина карьера и глубина расположения перегрузочного пункта. Глубина расположения перегрузочного пункта принималась из условия кратности высоте нерабочего совмещенного уступа,

равного 30 м. По результатам была построена зависимость, представленная на рис. 5.13.

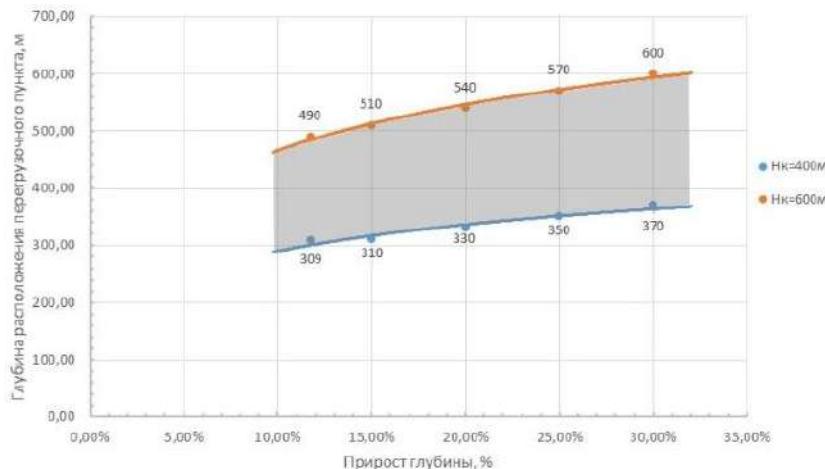


Рисунок 5.13 – Зависимость приращения конечной глубины карьера от глубины расположения перегрузочного пункта

Результаты моделирования показали, что приращение глубины карьеров для принятой модели может достигать 30%. Величина приращения увеличивается с понижением глубины расположения перегрузочного пункта, так как при этом появляется возможность сработать больший объем транспортных берм, соответственно, большая часть борта карьера формируется под более крутым углом. Ограничением увеличения конечной глубины карьера является обеспечение устойчивости бортов карьеров. При этом выбор места расположения карьерного подъемника и вскрывающей выработки должен производиться с учетом расчетов устойчивости по отдельным разрезам борта карьера. Целесообразно располагать подъемник на наиболее устойчивом борту карьера с достаточно высоким запасом устойчивости. В таком случае при отсутствии необходимости поддержания в устойчивом состоянии остальных участков борта карьера, кроме участка размещения подъемника и перегрузочного пункта, значительно упрощает данное ограничение. Также ориентируясь на перспективы роботизации производственных процессов, особенно в опасных и неблагоприятных условиях производства работ, также отмечается перспективная тенденция к увеличению величины откосов уступов и бортов карьера [54, 190, 180], данным тенденциям соответствуют предлагаемые в диссертации разработки. Технологические схемы с использованием карьерных подъемников, хорошо подаются автоматизации при дополнительном применении в зоне ниже перегрузочного пункта роботизированных транспортных средств, технологические схемы отработки запасов смогут стать максимально

автоматизированными и роботизированными, не предусматривающими прибывание человека в опасных зонах.

С учетом того, что для некоторых видов переходных периодов, например, при переходе на заключительные этапы открытой разработки месторождения или на открыто-подземный способ разработки, характерно значительное сокращение объемов перевозки (до 10 раз и более), предлагаемые вскрывающие выработки обеспечат необходимый грузооборот по основным и вспомогательным карьерным грузам. Достигаемые результаты от предлагаемого решения, а также реализуемые при этом принципы устойчивого развития представлены в табл. 5.1. Представленные в таблице принципы являются частью принципов из ранее выполненной систематизации в главе 3.

Реализация предлагаемого решения по формированию системы вскрытия, с использованием предлагаемых конструкций вскрывающих выработок, соответствует целям устойчивого развития, реализуется на основе рассмотренных принципов и позволит значительно улучшить экономическое, экологические и социальные показатели переходных периодов.

Таблица 5.1 - Реализация принципов устойчивого функционирования и развития ГТС (на примере реализации проекта разработанной конструкции карьерных подъемников)

Цели устойчивого развития ГДП	Результаты достижения целей	Принципы устойчивого развития		
		ГДП	ГТС	Система вскрытия
Экономические	Снижение затрат на транспортирование горной массы до 70% и сокращение затрат на вскрышные работы от разноса бортов карьера на 25-45%	Принципы устойчивого развития геотехнологий; принцип ресурсосбережения; принцип оптимальности	Принцип эффективности и безопасности	Принципы формирования схемы вскрытия, принцип формирования грузопотоков
Экологические	Сокращение выбросов загрязняющих веществ до 50%, снижение отходов в среднем на 30%	Принцип минимизации воздействия	Принцип проектирования ГТС	Принцип замещения видов транспорта
Социальные	Повышение безопасности работ, улучшение условий труда персонала, повышение уровня автоматизации производства	Принцип социальной стабильности	Принципы обеспечения безопасности	Принцип управления оборудованием

Предлагаемые геотехнологические решения и методические рекомендации в определенной последовательности реализуются на горнодобывающих предприятиях для повышения эффективности разработки месторождения и достижения системами целей устойчивого функционирования и развития. Последовательность предлагаемых решений отображается в разработанной методике.

5.2Разработка методики определения параметров этапов вскрытия глубоких горизонтов рудных месторождений и выбора стратегии развития ГТС

Поэтапное вскрытия крутопадающих месторождений предполагает пересмотр проектных решений на определенных этапах разработки. Необходимость поэтапного вскрытия определяется продолжительностью отработки таких месторождений, при этом в процессе разработки уточняются запасы месторождения, пересматривается бортовое содержание полезных компонентов, появляются новые виды и модели транспортного оборудования, которые соответствуют условиям разработки месторождения. Выбрать оптимальную стратегию на весь период разработки месторождения на первоначальном этапе невозможно. Продолжительность этапа вскрытия может не совпадать с продолжительностью этапа разработки. соответственно в течение этапа параметры системы вскрытия могут быть пересмотрены. Производимый по предлагаемым в данной диссертации методам выбор системы вскрытия ориентирован на применение наиболее эффективного по рассматриваемой системе параметров варианта развития ГТС. В то же время в переходный период присутствуют и другие затраты, условно постоянные, не зависящие от системы вскрытия, например, затраты по системе разработки, включающие остальные технологические процессы, которые также должны учитываться при окончательном принятии решения о реализации определенной стратегии развития горнотехнической системы. Окончательное решение будет приниматься только, если итоговые экономические показатели от реализации стратегии будут соответствовать ожиданиям лиц, инвестирующих в реализация проекта и принимающих решение.

Одним из ключевых факторов, влияющих на продолжительность и устойчивость предприятия при освоении крутопадающих месторождений, является фактор обеспеченности сырьевыми ресурсами предприятия. Так как при отсутствии запасов, т.е.

при полной отработке разведанной залежи, все остальные факторы уже не оказывают никакого влияния на эффективность и устойчивость развития компании. Срок обеспеченности предприятия минеральными ресурсами для каждого этапа разработки можно определить как:

$$T = \frac{3}{\Pi} > N, \quad (5.1)$$

где T - срок обеспеченности запасами, лет; 3 - количество балансовых запасов руды по категории $A + B + C_1 + C_2$ на месторождении, т; Π - годовая производительность предприятия по руде в пределах рассматриваемого этапа, т/год; N - срок окупаемости капитальных вложений в пределах этапа разработки, лет.

В диссертации обеспеченность запасами определяется через рассматриваемую продолжительность этапа разработки, которая предполагает вовлечение в разработку определенных объемов балансовых запасов.

Обеспеченность предприятия запасами может составлять от нескольких (3-5) лет до нескольких десятков лет. В случае, если срок окупаемости превышает нормативный срок амортизации основного оборудования, зданий и сооружений, устойчивое функционирование предприятия не будет обеспечено. В данном случае необходимо, либо пересмотреть объем запасов, который может быть вовлечен в разработку в сторону увеличения, либо пересмотреть структуру затрат, и в первую очередь, на создание системы вскрытия.

Наиболее устойчивый режим деятельности предприятия можно моделировать с помощью системы показателей, упорядоченных определенным образом по отношению друг к другу. Построенные модели устойчивости должны служить точкой отсчета при оценке фактического режима функционирования предприятия, ориентиром в принятии стратегических управленческих и финансовых решений [50].

В [7] предлагается при оценке устойчивости деятельности предприятия применять только два критерия: устойчивое или неустойчивое, исключив использование промежуточных критериев (слабо-, среднеустойчивое и т.д.), которые носят чисто субъективный характер. Эффективность функционирования предприятия можно оценить с помощью соотношений притока и оттока денежных средств. Наибольшее распространение получили такие критерии оценки как: чистый дисконтированный доход (чистая дисконтированная прибыль, чистая дисконтированная стоимость), разница приведенных затрат. Также некоторыми исследователями используются показатели

ЕБИТДА, чистые денежные потоки (cash flow), внутренний индекс доходности и др. Даже несмотря на критику многими исследователями таких критериев, как чистый дисконтированный доход (ЧДД, NVP) и приведенные затраты, ввиду относительной субъективности коэффициентов приведения, используемых в расчетах, данные критерии широко используются в горном деле при оценке экономической эффективности проектных решений, ТЭО строительства предприятия, а также при оценке применения результатов научных исследований. Большим преимуществом данных показателей является учет фактора времени, что является важным для оценки, в частности вариантов системы вскрытия, так как мы проектируем ее использование на длительную перспективу - этап или несколько этапов разработки.

Продолжительность этапов вскрытия и разработки месторождения, принимаемые при проектировании, должны быть увязаны со сроком амортизации используемого оборудования. Применяемое на горнодобывающих предприятиях оборудование попадает в различные амортизационные группы, со сроками амортизации от 3 до 20 лет. Фактические сроки эксплуатации могут отличаться как в большую, так и меньшую стороны, в зависимости от условий эксплуатации, качества и своевременности выполнения ремонтов и технического обслуживания, финансовых возможностей компании. Например, по данным [7], усредненные сроки полезного использования основного оборудования на рудодобывающих предприятиях составляет 4,5-6,5 года, а на обогатительных и металлургических заводах он находится в интервале 9,9-11,6 года. Отмечается, что эти данные характеризуют типичную ситуацию в медной отрасли и могут быть отнесены к анализу всех подобных горно-металлургических предприятий.

Так как переходный период, как отмечалось ранее, может проходить внутри этапа разработки месторождения, и система вскрытия после окончания переходного периода будет использована сначала под производительность текущего этапа. Далее при переходе с одного этапа на другой, система вскрытия будет адаптироваться под другую производительность. В последующем, при переходе на другой способ разработки, также производительность и показатели функционирования системы вскрытия будут отличаться от предыдущих периодов. Доход от использования системы вскрытия в переходный период может быть низким и даже отрицательным. Для некоторых вариантов переходных периодов возможно прекращение добычи руды на определенный срок, связанный, например с необходимостью строительства конструкций, пересекающих действующие транспортные коммуникации или

реконструкцией существующих транспортных коммуникаций. Новая система вскрытия может дать хороший экономический эффект от ее использования на этапе открытых горных работ до окончания очередного этапа. На этапе подземных горных работ ежегодный доход может снижаться, однако за счет длительного срока использования данной системы вскрытия суммарный доход будет положительным и достаточным для обеспечения рентабельности производства на приемлемом уровне.

Эффективность решений принятых и реализованных в переходный период предлагается оценивать критерием максимального совокупного дохода, получаемого при реализации новой стратегии:

$$\sum D = D_{\text{пп}} + D_{\text{эт}} + \dots + D_{\text{эн}} \quad (5.2)$$

где $D_{\text{пп}}$ – доход, получаемый в переходный период; $D_{\text{эт}}$ – доход, получаемый в текущем этапе разработки при применения новой системы вскрытия; $D_{\text{эн}}$ – доход, получаемый при применении в последующий n -й период

Данный критерий позволит учитывать суммарный доход, получаемый предприятием за весь период использования системы вскрытия. В отдельные этапы доход может быть отрицательным, однако это компенсируется в последующие этапы эксплуатации. По величине максимального совокупного дохода окончательно принимается стратегия развития горнотехнической системы с принятым вариантом системы вскрытия и параметрами переходного периода. Доход, получаемый в каждый рассматриваемый этап разработки месторождения, дисконтируется. Затраты приводятся к моменту окончания переходного периода, т.е. когда система вскрытия, как и вся горнотехническая система, функционируют с установленными в проекте показателями (рис. 5.14).

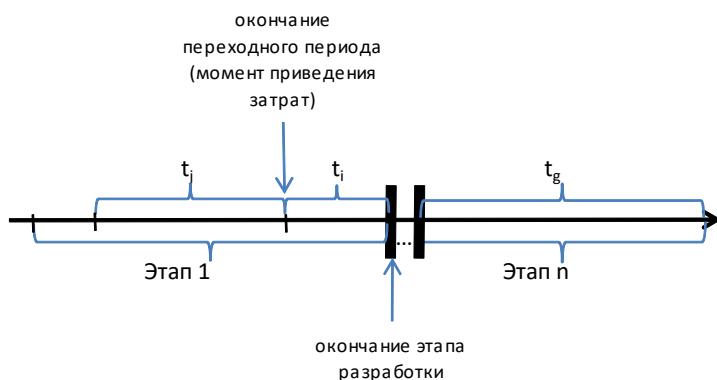


Рисунок 5.14 – Схема приведения доходов предприятия в переходный период

На рис. 5.14 представлен вариант, когда переходный период заканчивается в течение действующего этапа разработки месторождения, т.е. при этом не изменяются

конечные (промежуточные) контуры карьера и не изменяется способ разработки. Для условий, когда окончание переходного периода совпадает с окончанием очередного этапа разработки, либо приходится на следующий этап, момент приведения затрат смещается и методики расчета будут отличаться в части приведения затрат (знаменатель формул определения дохода).

После оценки вариантов системы вскрытия и определения наиболее целесообразной стратегии развития ГТС на

Величина дохода, получаемого в течение переходного периода, определится следующим образом:

$$\mathcal{D}_{nn} = \sum_{j=1}^{t_j} \frac{(B_{nnj} - (K_{nnj} + \mathcal{E}_{nnj}))}{(1 - E)^{t_j}} \quad (4)$$

где B_{nnj} – выручка предприятия, получаемая в течение переходного периода, руб.; j – начало переходного периода, t_j – продолжительность переходного периода, лет; K_{nnj} – капитальные затраты на реализацию стратегии, приходящиеся на переходный период, руб.; \mathcal{E}_{nnj} – эксплуатационные затраты в течение переходного периода, руб.

$$\mathcal{D}_{\vartheta n} = \sum_{k=t_j}^{t_k} \frac{(B_{\vartheta n} - (K_k + \mathcal{E}_k))}{(1 + E)^{t_k}} \quad (5)$$

где $B_{\vartheta n}$ – выручка предприятия, получаемая в течение n -го этапа разработки при использовании новой стратегии разработки, руб.; k – начало n -го этапа, t_k – продолжительность n -го этапа использования новой стратегии, лет; K_k – капитальные затраты на n -м этапе функционирования новой системы вскрытия, руб.; \mathcal{E}_i – эксплуатационные затраты в n -м этапе, руб.

Также для принятия итогового решения о целесообразности реализации стратегии получивший наивысший ранг рассчитываются показатели рентабельности производства, срок окупаемости инвестиций и др. Условия, когда экономические показатели от реализуемой стратегии удовлетворяют ожиданием лиц, принимающих решения и инвестирующих в проект, соответствуют переходу проекта в стадию реализации.

Предлагаемый в работе методологический подход и технологические решения, параметры, критерии и ограничения, сведены в пошаговую методику обоснования параметров этапов вскрытия и выбора стратегии развития ГТС, основные шаги

которой представлены в алгоритме (рис. 5.15).

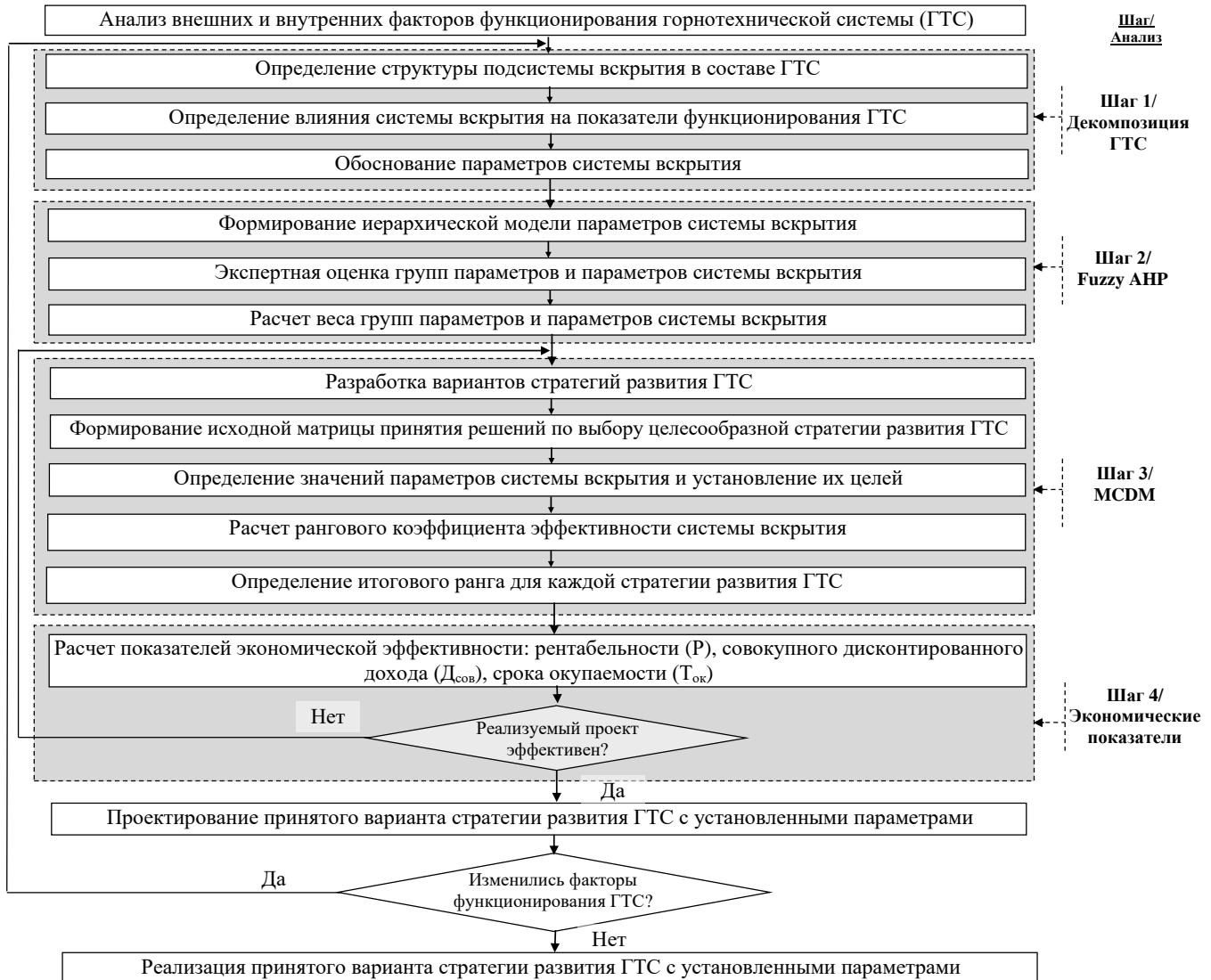


Рисунок 5.15 – Алгоритм определения параметров системы вскрытия и принятия решения по выбору стратегии устойчивого развития ГТС

Представленный алгоритм предусматривает:

- формулирование цели устойчивого функционирования и развития горнотехнической системы – предполагает, что предприятие принимает для выбора стратегий необходимость достижения баланса между экономическими, экологическими и социальными результатами их реализации;
- анализ внешних факторов – изучается внешняя среда на предмет оценки текущей и перспективной цены на добываемую руду, а также спроса на продукцию предприятия. Существующая цена, которую может определить предприятие на основе анализа собственной экономической деятельности, сравнивается с рыночной,

а возможные объемы добычи руды на предприятии со спросом на данный вид продукции;

- анализ внутренних факторов – анализируются текущие параметры карьера, себестоимость добычи полезного ископаемого, изменения себестоимости во времени и с глубиной, перспектива изменения себестоимости с увеличением глубины ведения горных работ, также анализируются динамика негативного воздействия на окружающую среду, условия работы персонала, изменения данных параметров, учитывается перспектива прироста запасов полезного ископаемого в результате проведения эксплуатационной разведки, пересмотр кондиций на сырье;

- определение роли и места системы вскрытия в структуре ГТС – предполагает дифференцированный учет параметров и показателей системы вскрытия и оценку их вклада в общие показатели эффективности ГТС, что позволит выбирать вариант стратегии ориентируясь на параметры системы вскрытия рассматриваемых вариантов, оценивая остальные затраты как условно постоянные;

- обоснование параметров системы вскрытия – предполагает набор параметров и показателей оценки системы вскрытия. Рассматриваемых в главе 2 настоящей диссертации, при выполнении расчетов на данном этапе производится определение численных значений данных параметров по рассматриваемым вариантам;

- разработка стратегий развития ГТС – в диссертации рассматривается 4 возможных стратегии развития ГТС (глава 3). На данном этапе на каждом предприятии из ряда предложенных рассматриваются возможные к реализации;

- формирование иерархической модели – предполагает графическое представление решаемой задачи, в которой учитываются предлагаемые группы параметров, параметры и показатели по каждой группе, искомый результата в виде стратегий и связи между параметрами и искомым результатом;

- расчет веса параметров системы вскрытия – предполагает экспертную оценку параметров и показателей, при этом в качестве экспертов могут привлекаться специалисты предприятия, на котором предполагаются преобразования, специалисты проектных и исследовательских организаций, знакомых со спецификой деятельности рассматриваемого предприятия, а также независимые эксперты, чей профессиональный уровень и профиль деятельности соответствуют решаемой

задаче. Определение весовых коэффициентов и ранжирование параметров производится с использованием метода fuzzy АНР;

- формирование исходной матрицы решений – является одним из этапов реализации используемого в работе многокритериального метода принятия решений MARCOS, когда основные параметры системы вскрытия и стратегии прописывается в виде матрицы, представленной в главе 3;

- ранжирование альтернатив стратегий – предполагает выполнение расчетов принятым методом и в результате каждая стратегия получает итоговое значение коэффициента эффективности системы вскрытия, что позволяет распределить рассматриваемые стратегии по рангам;

- выбор стратегии развития – предполагает выбор стратегии, для которой на предыдущем этапе получился наиболее высокий ранг – 1;

- расчет совокупности экономических показателей реализуемой стратегии не только по системе вскрытия, но также с учетом остальных затрат, которые ранее рассматривались как условно постоянные для всех вариантов. Условием принятия окончательного решения является вариант, для которого рассчитанные показатели будут соответствовать определенным ожиданиям лиц, инвестирующих в проект и принимающих решение. Если данное условие не выполняется, то решения пересматриваются.

Предлагаемые в работе геотехнологические решения, полученные зависимости, позволяющие формировать возможные стратегии, критерий эффективности системы вскрытия, а также разработанный алгоритм в совокупности формируют общую методику проектирования поэтапного вскрытия крутопадающих рудных месторождений. Данная методика и разработанные решения позволяют расширить существующую методологию обоснования параметров системы вскрытия при проектировании и освоении крутопадающих месторождений.

5.3 Развитие методических основ формирования системы вскрытия при разработке крутопадающих месторождений

По определению [25] методология – это учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности; методология науки - учение о

принципах построения, формах и способах научного познания.

В [26] отмечается, что методология науки даёт характеристику компонентов научного исследования - его объекта, предмета анализа, задачи исследования (или проблемы), совокупности исследовательских средств, необходимых для решения задачи данного типа, а также формирует представление о последовательности движения исследователя в процессе решения задачи.

Согласно [215] развитие - процесс закономерного изменения, перехода из одного состояния в другое, более совершенное; переход от старого качественного состояния к новому, от простого к сложному, от низшего к высшему.

Выполненные исследования показывают, что происходящее развитие технических средств для транспортирования горной массы, перспектива развития средств и устройств не требующих вскрывающих выработок, динамика развития горных работ и соответствующая ей динамика развития схемы вскрытия, многообразие параметров, влияющих на принимаемые решения по выбору рациональных вариантов вскрытия, привели к необходимости совершенствования традиционной методологии формирования системы вскрытия.

В настоящее время существующая нормативная база, на основе которой осуществляется проектирование разработки месторождений полезных ископаемых, предполагает решение вопросов вскрытия и карьерного транспорта в различных разделах [261]. Вопросы вскрытия рассматриваются в разделе III п. 2 «Вскрытие и порядок отработки карьерного поля», выбор средств карьерного транспорта производится в разделе III п. 6 «Карьерный транспорт». В традиционной теории проектирования говорится, что проектирование — это диалоговый процесс. Разделы проекта обладают прямыми и обратными связями. В тоже время в современных условиях между данными разделами должна быть не просто прямая и обратная связь, данные решения должны прорабатываться совместно. При проектировании кругопадающих месторождений, предполагающих сроки отработки более 20 лет, согласно требованиям ЦКР-ТПИ Роснедра, должна разрабатываться стратегия отработки всех запасов месторождения, однако не прорабатываются вопросы достижения конечных параметров стратегии по развитию системы вскрытия, не учитывается стратегия последующего этапа, когда предполагаемые сроки отработки достигают 50 и более лет. Как было отмечено ранее предельная продолжительность проектируемого этапа разработки регламентируется только времененным отрезком в 20 лет, без учета горнотехнических условий, динамики развития горнотехнических

систем. Производимые изменения во внешней и внутренней среде функционирования горнотехнических систем приводят к необходимости корректировки стратегии отработки текущих этапов разработки, выбора стратегии и обоснования ее параметров при переходе на новый этап открытых горных работ, либо при переходе на открыто-подземный и подземный способы разработки. Методология формирования системы вскрытия для различных рассматриваемых вариантов стратегий устойчивого развития ГТС будет отличаться [35].

При изменении стратегии отработки текущего этапа не пересматриваются контуры карьера на конец отработки этапа, при этом может корректироваться срок отработки части месторождения в пределах данного этапа в случае изменения текущей производительности по полезному ископаемому.

Исследованиями, выполненными в предшествующих разделах установлены зависимости между параметрами системы вскрытия и показателями эффективности для открытого и открыто подземного способа разработки месторождения. Разработаны геотехнологические решения по формированию системы вскрытия с использованием ЦПТ в карьере на этапе открытых и открыто-подземных работ. Определен критерий оценки эффективности системы вскрытия, который используется при выборе стратегии развития ГТС. Для реализации данных решений предлагается использовать теоретические и методические разработки диссертации для развития применяемых методов проектирования и планирования развития системы вскрытия карьера, отрабатывающих крутопадающие месторождения. Эти разработки легли в основу методологического подхода, который дополняет традиционную методологию формирования системы вскрытия (рис. 5.17).

Дополненная методология формирования системы вскрытия включает:

- анализ внешних и внутренних факторов функционирования ГТС, к которым относятся: цена на добываемое сырье (Ц), спрос на продукцию предприятия (С), текущие затраты на добычу полезного ископаемого (З), годовая производительность по полезному ископаемому ($Q_{год}$), коэффициенты вскрыши текущий ($K_{тек}$) и средний по этапу разработки ($K_{вср}$), глубина карьера текущая и на конец запроектированного этапа (H_k);

- формулирование целей устойчивого развития, ориентируясь на 17 взаимосвязанных целей, разработанных в 2015 году Генеральной ассамблеей ООН, предприятия при принятии на всех ступенях иерархии (ГМХ, ГДП, ГТС, подсистемы ГТС) решений, должны учитывать необходимость достижения разумного баланса

между экономическими, экологическими и социальными факторами при выборе стратегий устойчивого развития и обоснования параметров систем для каждой стратегии;

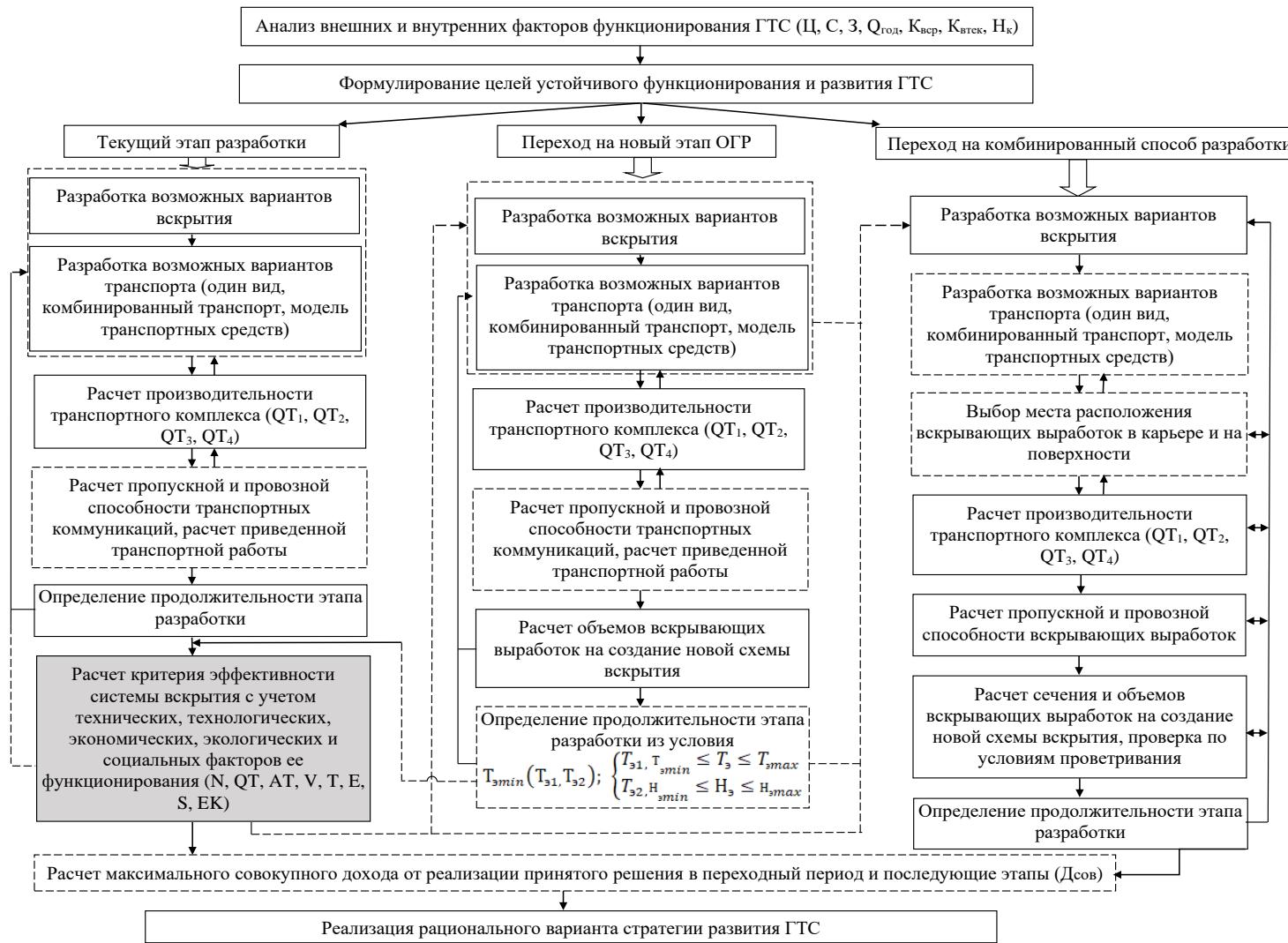
- определение текущего этапа отработки месторождения. В зависимости от того, на каком этапе разработки находится горнотехническая система методика оценки и выбора варианта системы вскрытия будет отличаться. При этом, когда карьер находится на первом этапе отработки месторождения определяется последовательность реализации рассматриваемых в работе стратегий развития;

- разработка возможных вариантов вскрытия (выбор способа и схемы вскрытия) в настоящей диссертации рассматривается совместно с выбором возможных вариантов карьерного транспорта (один транспорт, ЦПТ, модели транспортных средств). На данном этапе также определяется расположение вскрывающих выработок и конструкций подъемников в пространстве карьера с учетом текущего этапа и перспективы применения на последующих этапах разработки;

- расчет производительности транспортного комплекса, предполагает определение производительности отдельных звеньев транспортной цепи: автомобильного транспорта, подъемников, перегрузочных пунктов. На данном этапе также определяется потребное количество транспортных средств;

- расчет пропускной и провозной способности транспортных коммуникаций предполагает проверку совместимости схемы вскрытия и принятых моделей транспорта для обеспечения требуемого грузооборота карьера; расчет приведенной транспортной работы определяет условия работы автотранспорта в зависимости от особенностей осуществления грузопотоков;

- определение продолжительности этапа. На стадии текущего этапа разработки его продолжительность была определена ранее и может изменяться в больше или меньшую сторону если пересматривается производительность карьера по полезному ископаемому. Контуры карьера при этом не пересматриваются. При переходе на новый способ разработки продолжительность этапа определяется из условия, представленного в п. 3.1 диссертации;



— существующая методология; — добавлено в существующую методологию; — дополнено в существующей методологии

Рисунок 5.17 - Схема предлагаемого методологического подхода к выбору варианта поэтапного вскрытия для различных стратегий развития ГТС

- расчет значений критерия эффективности по методике, представленной в пп. 3.2 и 3.3 диссертации;
- расчет совокупного дисконтированного дохода от реализации принятого варианта системы вскрытия для рассматриваемой стратегии;
- реализация рассматриваемого варианта стратегии устойчивого развития ГТС с заданными параметрами.

Наличие на рис. 5.17 прямых и обратных связей предполагает уточнение решений с учетом ранее принятых решений, либо с учетом предполагаемых к реализации в дальнейшем.

Разработанная методика и методология были использованы при разработке решений по практической реализации результатов работы на горнодобывающих предприятиях уральского региона.

Выводы

- предложены и запатентованы конструкции карьерных подъемников, объединяющих функции подъема горной массы и обслуживания перегрузочного пункта. Схемы вскрытия с использованием данных подъемников позволяют повысить эффективность переходного периода от открытого способа разработки к открыто-подземному за счет отработки части съездов выше перегрузочного пункта и увеличения глубины карьера до 30% в период перехода на открыто-подземный способ разработки, что позволит осуществлять добычу руды в период строительства подземного рудника. Применение разработанных конструкций подъемников также позволит в 2-3 раза сократить площадь сохраняемого в целиках пространства карьеров при использовании систем подземной разработки с обрушением вмещающих пород;

- установлено, что использование данной конструкции при доработке месторождения открытым способом и переходе на открыто-подземный способ разработки позволит снизить затраты на транспортирование горной массы до 70 %, на выполнение вскрышных работ – до 38 %, сократить объемы выбросов загрязняющих веществ до 50 %, увеличить глубину карьера без разноса борта карьера по поверхности до 30 %, а также значительно улучшить условия труда персонала предприятия и повысить безопасность производства работ;

- разработана методика определения параметров этапов вскрытия глубоких

горизонтов рудных месторождений при комбинированной геотехнологии, отличающаяся использованием многокритериальных методов при оценке эффективности системы вскрытия и позволяющая реализовывать технико-технологические решения по развитию циклично-поточной технологии транспортирования горной массы, для вскрытия запасов за проектным контуром карьера, при открыто-подземном способе разработки и решения по комплексному использованию георесурсов неосновного производственного назначения. Методика предполагает необходимость периодического ранжирования возможных стратегий развития ГТС по мере развития горных работ на месторождении;

- дополнена методология проектирования системы вскрытия крутопадающих месторождений: уточненным понятием и структурой системы вскрытия, качественными и количественными параметрами, влияющими на выбор системы вскрытия; комплексным критерием оценки системы вскрытия; комбинированным многокритериальным подходом к выбору стратегии устойчивого развития ГТС на основе оценки системы вскрытия.

6. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ВСКРЫТИЯ НА КАРЬЕРАХ

6.1 Разработка практических рекомендаций по определению параметров системы вскрытия в текущем этапе разработки месторождений

Практическая реализация разработанных геотехнологических решений осуществлялась на горнодобывающих предприятиях уральского региона в рамках выполняемых технических проектов и научно-исследовательских работ. Автор принял участие в разработке свыше 100 технических проектов для горнодобывающих предприятий, разрабатывающих рудные и нерудные полезные ископаемые. За период с 2004 г по 2022 г. автор участвовал в выполнении более 10 научно-исследовательских работ в качестве исполнителя, ответственного исполнителя и руководителя НИР [80, 211, 212, 213, 214]. Результаты внедрения результатов исследований в научно-исследовательских работах подтверждаются актами внедрения, представленными в приложениях к диссертации.

В табл. 6.1 представлены обобщенные результаты решений для различных вариантов переходных периодов, реализованных на практике в системах вскрытия карьеров АО «Оренбургские минералы», АО «Орское карьерауправление», ООО «Южно-Уральская ГПК», АО «Ормет», ПАО «ММК» и др. Также были выполнены предпроектные исследования для перспективного Копанского месторождения титано-магнетитовых руд. Частично разработанные решения и результаты исследований для горнодобывающих предприятий рассмотрены в главе 2 и 3 диссертации. Так в главе 2 рассмотрены варианты проектируемой системы вскрытия для условий разработки Аккермановского месторождения марганцевых руд, которое является перспективным ввиду достаточно высокой ценности руды в настоящее время, однако сложные условия залегания, большие значения коэффициентов вскрыши, наличие существующих объектов инфраструктуры делают реализацию проекта по освоению данного месторождения достаточно сложной. Выбор целесообразного варианта системы вскрытия, как показали исследования, позволит повысить эффективность освоения данного месторождения.

Таблица 6.1 – Примеры использования предлагаемой методики обоснования системы вскрытия для предприятий уральского региона

Предприятие (карьер)	Вид переходного периода	Задачи переходного периода	Цель переходного периода	Результат преобразований
АО "Оренбургские минералы" (Килембаевский)	Внутри этапа	Сокращение затрат на транспортирование, техническое перевооружение	Изменение параметров существующей схемы вскрытия	Изменение конструкции рабочего борта, создание независимых грузопотоков
Копанское месторождение титано-магнетиевых руд	Внутри этапа	Формирование системы вскрытия с минимальными объемами вскрышных пород	Создание новой схемы	Выбран вариант системы вскрытия, обеспечивающей минимальные значения я среднего и текущего коэффициентов вскрыши
АО "Орское карьера-управление" (Кругорожинский)	Переход с одного этапа разработки открытым способом на другой	Расширение сырьевой базы, вовлечение в разработку нового участка, сокращение $K_{ср}$, $K_{тек}$	Создание новой дополнительной схемы вскрытия	Снижение текущего коэффициента вскрыши, создание независимых грузопотоков
АО «Белсталь» (Наратай, железные руды)	Внутри этапа	Формирование системы вскрытия с минимальными объемами вскрышных пород	Создание новой схемы	Выбран вариант системы вскрытия, обеспечивающей значения коэффициента вскрыши равного предельному
ООО "Южно-Уральская ГПК" (Северо-Западный)	Внутри этапа	Техническое перевооружение, сокращение $K_{ср}$, $K_{тек}$	Изменение параметров существующей схемы вскрытия	Сокращение общего объема вскрывающих выработок
ПАО "ММК" (Малый Куйбас)	Переход с открытого способа разработки на подземный	Расширение сырьевой базы	Создание новой схемы вскрытия взамен старой	Вовлечение в разработку залежей запасов с допустимой себестоимостью
АО "Ормет" (Джусинский)	Внутри этапа	Сокращение расстояния транспортирования	Изменение параметров существующей схемы вскрытия	Сокращение расстояния транспортирования горной массы по карьеру
ООО "Башкирская медь" (Юбилейный)	Переход с открытого способа разработки на подземный	Сокращение расстояния транспортирования, снижение $K_{ср}$	Создание новой схемы вскрытия, старая используется как вспомогательная	Сокращение общего объема вскрышных работ в карьере, сокращение расстояния транспортирования горной массы

Также в главе 2 представлены результаты исследований по вскрытию нового участка на Круторожинском месторождении, в результате которых принятый вариант системы вскрытия оказал большее влияние на экономическую эффективность реализации проекта по сравнению с рассматриваемыми вариантами системы разработки. В главе 3 представлены результаты исследований на примере месторождения медно-порфировых руд Михеевское, результатом которых является развитие ЦПТ в карьере позволяющих ее реализовать не только на текущем, но и на последующих этапах разработки, что повышает эффективность освоения месторождения в целом. Все рассмотренные решения позволяют продлить период эффективной разработки месторождения, а соответственно, сохранить существующие рабочие места и, в некоторых случаях, создать новые, что также решает социальные задачи для горнодобывающих производств.

Своевременность принятия решений и реализации изменений системы вскрытия позволила получить положительные результаты путем снижения затрат на вскрышные работы, на проходку вскрывающих выработок, на транспортирование горной массы, а также сократить потери полезного ископаемого при добыче.

Выполненные для перспективного к разработке Копанского месторождения исследования показали значительное влияние параметров системы вскрытия на эффективность освоения месторождения. Были рассмотрены 3 варианта вскрытия месторождения:

«Вариант – А» предполагает вскрытие карьера двумя внутренними капитальными траншеями, соответственно, имеется два выезда: один на +510 горизонте, дорога ведет к промышленной площадке, второй выезд находится на +630 горизонте, эта дорога, в свою очередь, ведет к отвалу. Форма трассы в данном варианте – комбинированная (спиральная, петлевая).

«Вариант – Б» предполагает вскрытие карьера одной внутренней капитальной траншееей, с одним выездом из карьера на западном борту, на горизонте +630. Форма трассы – преимущественно спиральная, с одной петлей. Спиральная форма трассы протягивается со дна (+300 горизонта) до +600 горизонта, а петлевая имеет только один участок, разворачивая дорогу на +600

горизонте, и продолжаясь до +630 горизонта.

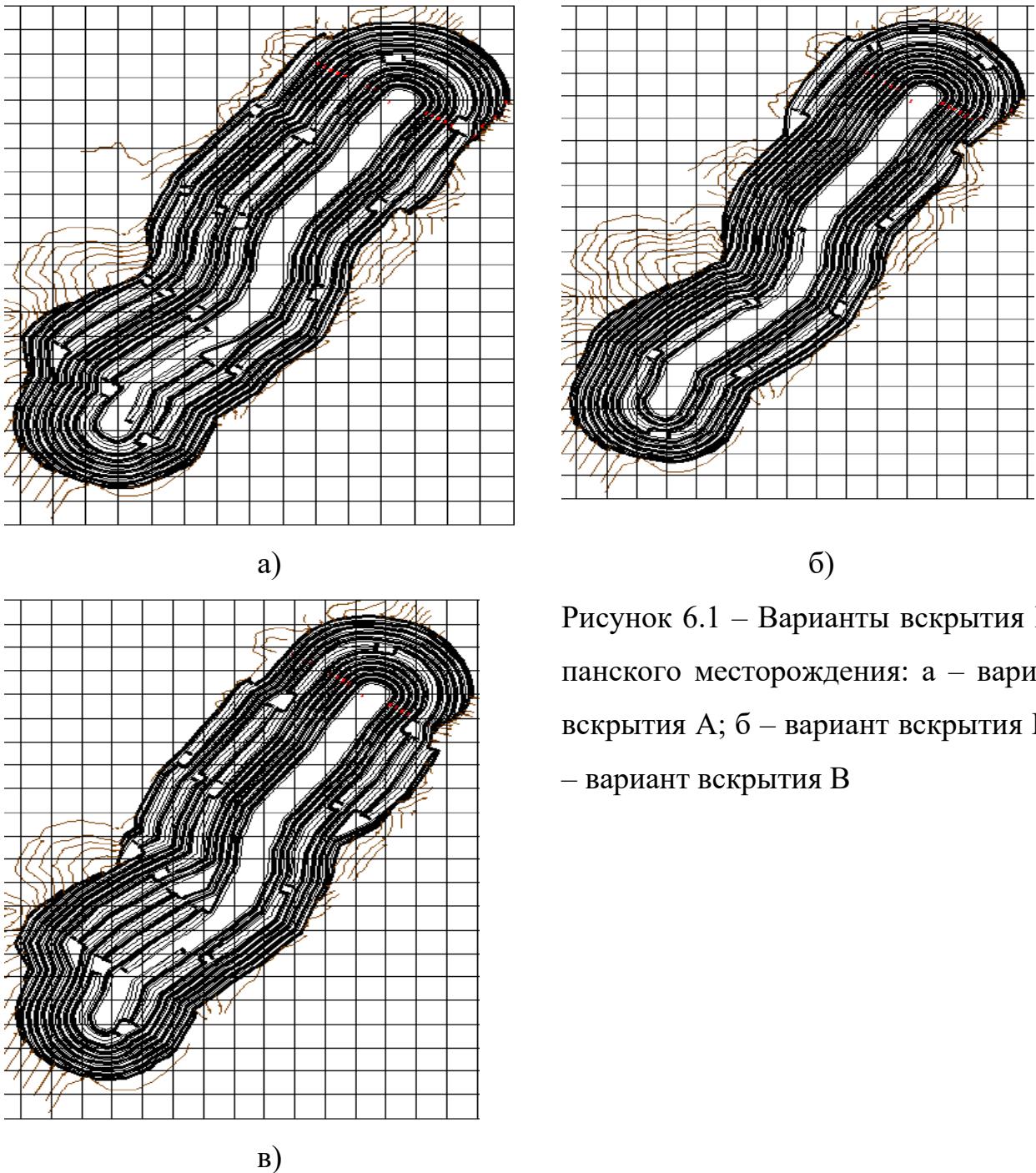


Рисунок 6.1 – Варианты вскрытия Ко-
панского месторождения: а – вариант
вскрытия А; б – вариант вскрытия Б;
в – вариант вскрытия В

«Вариант – В» предполагает вскрытие карьера двумя внутренними капитальными траншеями, соответственно имеется два выезда: один на +510 горизонте, дорога ведет к промышленной площадке, второй выезд находится на +630 горизонте, эта дорога, в свою очередь, ведет к отвалу. Форма трассы в данном варианте – комбинированная (спиральная, петлевая).

По всем рассматриваемым вариантам глубина карьера на момент окончания

этапа отработки составит 300 м. Продолжительность этапа – 20 лет.

Влияние системы вскрытия на параметры этапов для рассматриваемых вариантов представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Сравнение вариантов схем вскрытия с вариантом без вскрытия карьера

	Вариант - А	Вариант - Б	Вариант - В
Горная масса, м ³	169583053	151860522	169218244
Полезное ископаемое, м ³	7277746	7059407,7	7220961
Вскрышные породы, м ³	162132988	144598795,5	161794964
Протяженность вскрывающих выработок, м	7875	4125	7875

Для отработки данного месторождения рассматривался автомобильный транспорт. Произведено сравнение среди 8 альтернативных моделей автосамосвалов, с соответствующим обоснованием параметров системы вскрытия.

В результате выполненных расчетов к реализации предложен вариант А. Совокупный доход при реализации данной стратегии составит 7,23 млрд. руб.

Автором были произведены исследования по изменению параметров системы вскрытия в переходные периоды открытой разработки на примере ряда действующих горнодобывающих предприятий [39, 56, 79].

Для условий Аккермановского рудника были проведены исследования по изменению параметров системы вскрытия в текущем этапе отработки [166]. На данном предприятии было принято решение отказаться от комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта и произвести техническое перевооружение автотранспортного комплекса. Необходимо было произвести выбор конкретной модели автосамосвала и обоснования параметров вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций.

По сочетаемости с имеющимся и приобретаемым выемочно-погрузочным оборудованием были отобраны следующие альтернативные варианты самосвалов: БелАЗ-7540, грузоподъемностью 30 т, БелАЗ-7547, грузоподъемностью 42 т, автосамосвалы Scania G440 CB8x4EHZ, Volvo A30, Man, грузоподъемностью 30 т; Mercedes, грузоподъемностью 30 т. Для рассматриваемых моделей были определены основные параметры вскрывающих выработок. Исходные данные для

расчетов обоснования выбора автосамосвала для условий Аккермановского рудника представлены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Исходные данные для расчетов для условий Аккермановского рудника

Наименование модели автосамосвала	Ширина, м	Преодолеваемый уклон, %	Стоимость, млн. р
БелАЗ-7540	4,46	80	12,5
БелАЗ-7547	4,62	80	14,5
Scania G440 CB8x4EHZ	2,55	80	9,3
Volvo A30f	2,9	120	32,0
MAN TGS 41.480	2,5	80	8,9
Mersedes Actros 3341K	3,9	80	8,3

По совокупности влияющих параметров окончательно был принят к применению автосамосвал Scania G440 CB8x4EHZ.

Техническое перевооружение на Аккермановском руднике предусматривает отказ от использования комбинированного железнодорожного и автомобильного транспорта в карьерах и переход только на автомобильный транспорт. В соответствии с этим была рассмотрена возможность оптимизации системы вскрытия путем выбора модели автосамосвала, изменения параметров вскрывающих выработок, конфигурации бортов карьера, регулирования среднего и текущего коэффициентов вскрыши. Для снижения коэффициента вскрыши была определена возможность корректировки западного борта Северо-западного карьера в границах на конец отработки, что является возможным при использовании автомобильного транспорта, т.к. ранее для железнодорожного транспорта необходима была прямолинейность транспортных коммуникаций и, соответственно, контуров уступов. Таким образом, в центральной части западного борта предлагается исключить из разработки участок, сложенный вскрышными породами (рис. 6.2). Это позволит сократить общие объемы вскрыши на 120,1 тыс. м³ в контуре до гор. +240 м. С увеличением глубины карьера объем исключаемых из разработки вскрышных пород будет увеличиваться и составит более 400,0 тыс. м³. Данное решение позволяет сократить средний коэффициент вскрыши в проектных контурах карьера и сократить затраты на вскрышные работы.

Предлагаемые мероприятия также позволили снизить текущий коэффициент вскрыши в пределах этапа разработки до $0,2 \text{ м}^3/\text{т}$.

Целью переходного периода на карьерах Аккермановского месторождения в итоге становится изменение параметров существующей системы вскрытия. Вскрывающие выработки, используемые при железнодорожном транспорте в дальнейшем, не используются. Была рассмотрена возможность размещения в неиспользуемой части вскрывающих выработок внутренних отвалов вскрышных пород для сокращения транспортной работы по перемещению вскрыши.

В северной части Северо-Западного карьера имеется внешняя капитальная траншея, которая использовалась раньше для размещения в ней железнодорожных путей, по которым осуществлялось транспортирование горной массы с рабочих уступов карьера. После переходного периода результатом которого стал отказ от использования железнодорожного транспорта в карьере, данная внешняя траншея была освобождена от железнодорожных путей и, в настоящее время, не используется. Данная траншея может быть использована для размещения в ней внутреннего отвала вскрышных пород и сокращения приведенной транспортной работы по перемещению вскрышных пород.

Формирование отвала во внешней траншее Северо-Западного карьера может осуществляться непосредственно с поверхности. Была рассмотрена возможность формирования отвала до границы запасов. Объем внутреннего отвала составил $309,0 \text{ тыс. м}^3$. Верхняя отметка отвала $+280 \text{ м}$. Высота (глубина) отвала переменная, с учетом уклона внешней траншеи. Максимальная высота (глубина) отвала составит 30 м (рис. 6.2).

Также была рассмотрена возможность засыпки породами вскрыши неиспользуемой части внешней траншеи Центрального карьера. При этом частично изменяется конфигурация межплощадочной дороги, соединяющей карьер и дробильно-сортировочные фабрики. Размещение отвала и участка дороги показано на рис. 6.4. Объем отвала, который может быть размещен в данной траншее составит около 630 тыс. м^3 . Формирование отвала может производиться непосредственно с поверхности. Высота отвала составит до 20 м .

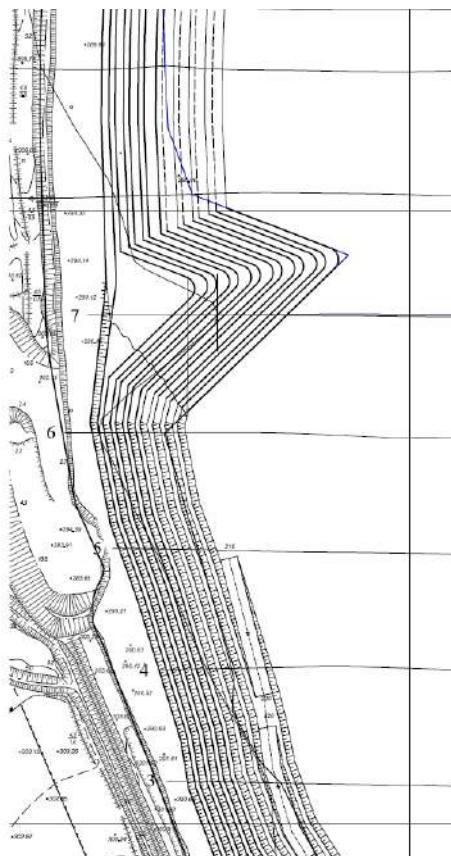


Рисунок 6.2 - Исключение из разработки вскрышных пород при реконструкции Северо-западного карьера Аккермановского рудника



Рисунок 6.3 – Элемент ситуационного плана с размещенными внутренними отвалами в Северо-Западном и Центральном карьерах

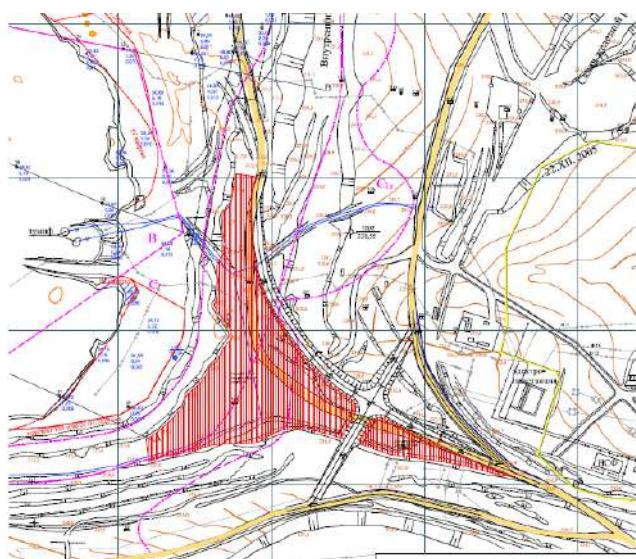


Рисунок 6.4 – Размещение внутреннего отвала во внешней траншее Центрального карьера

Использование вскрывающих выработок для размещения отвалов вскрышных пород позволяет сократить затраты на вскрышные работы в карьере, за счет

уменьшения приведенной транспортной работы практически в 1,9 раза и снижения экологических платежей связанных с размещением вскрышных пород во внешних отвалах на поверхности.

Совокупный доход от реализации данных решений составит 234,2 млн. руб. в течение этапа разработки.

Возможность создания изменения системы вскрытия в текущем этапе разработки было рассмотрено на примере **железорудного карьера «Малый Куйбас» ПАО «ММК»**. В карьере для доставки руды и вскрышных пород используется автомобильный транспорт. При приближении к конечной глубине карьера, расстояние транспортирования горной массы увеличивается и составит более 7 км. Эффективность использования автотранспорта при этом существенно снижается, а затраты на транспортирование возрастают. Для сокращения эксплуатационных затрат на транспортирование горной массы была рассмотрена в течение запроектированного этапа разработки возможность изменения системы вскрытия, путем строительства на нерабочем борту карьера крутонаклонного конвейерного подъемника (рис. 6.5).

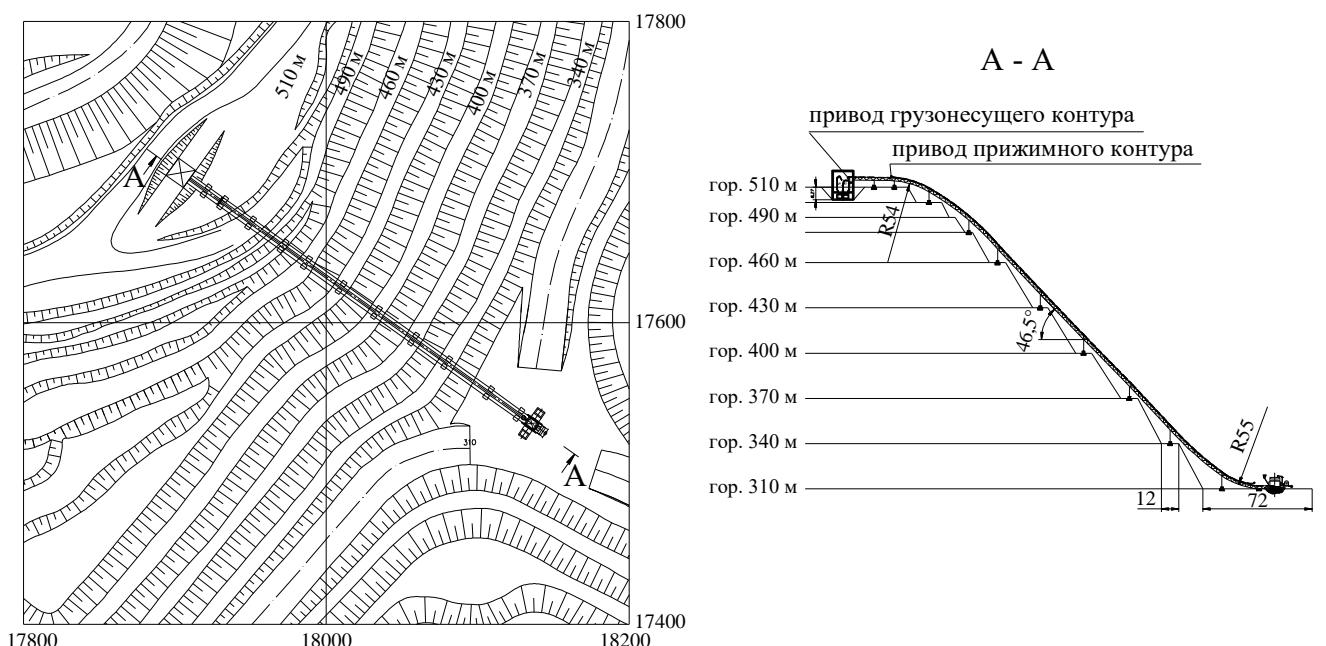


Рисунок 6.5 - Расположение конвейерного подъемника на борту карьера месторождения «Малый Куйбас»

Став конвейера, состоит из жестких секций металлоконструкций, нижним

основанием опирающихся на опоры (рис. 6.5). Длина секций и высота опор переменная. Опоры устанавливаются на площадках берм безопасности, предварительно подготовленных для этой цели.

При использовании КНК в пределах карьера в качестве сборочного звена циклично-поточной технологии используется автотранспорт (при доработке открытым способом применяются самосвалы типа БелАЗ-7548). Отличительной особенностью данного типа дробильно-погрузочной установки (ДПУ) является установка на горизонте разгрузки автосамосвалов.

Перед погрузкой породы на конвейер необходимо произвести ее дробление. Для большинства типов ДПУ, таких как ДПУ-300, ДПУ-1000 и ДПУ-2000 производства ОАО «Уралмашзавод» и зарубежных аналогов, необходимо углубить горизонт установки или создать перепад по высоте между основанием и местом загрузки на 8, 15 и 20 м соответственно. Так как по действующему проекту установка таких перегрузочных пунктов и конвейера не предполагалась на карьере отсутствует возможность по производству работ по размещению дробильно-перегрузочного пункта в нескольких уровнях по высоте. Поэтому, было принято решение рассмотреть альтернативные варианты ДПУ, не предусматривающих их углубление либо многоуровневую установку.

Данным требованиям соответствуют ковшевые дробильно-погрузочные устройства предлагаемые, например [91, 229]. ДПУ такого типа предназначены для приема, дробления и погрузки горной массы на уровне установки. ДПУ состоит из рамы, ковшей, ходовой части и двухвалковой шнекозубчатой дробилки (ДШЗ 1300/300) [91]. Работа ДПУ происходит следующим образом: горная масса с кусками до 1500 мм автосамосвалами грузоподъемностью до 180 тонн загружается в ковши ДПУ, которые при помощи гидравлического или канатного механизмов подъема перемещают горную массу в приемную часть ДШЗ. Из выходного отверстия дробилки горная масса с кусками до 300 мм загружается на ленту крутонаклонного двухленточного конвейера. Производительность имеющихся ДПУ составляет $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, масса - 600 тонн. Данная производительность обеспечит необходимую производительность карьера «Малый Куйбас». Пример установки

ДПУ представлен на рис. 6.6.

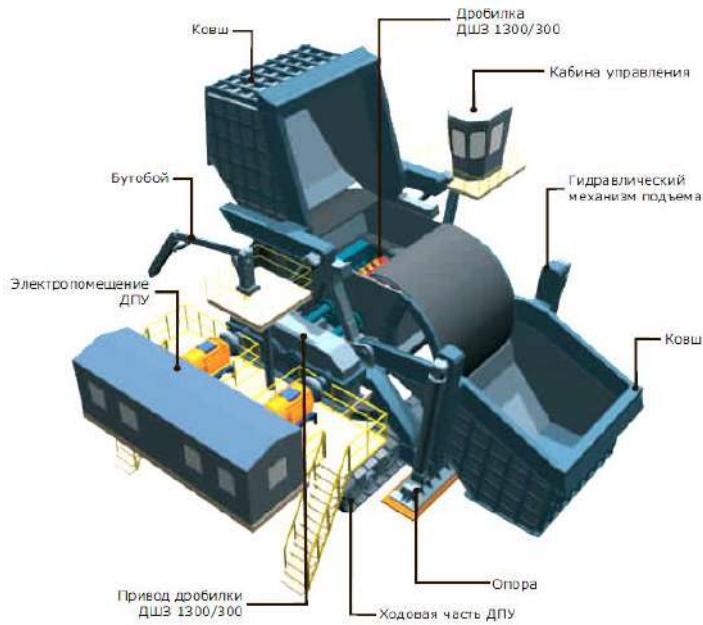


Рисунок 6.6 – Двухковшовое дробильно-погрузочное устройство (ДПУ) ООО «Горная компания «Логинов и Партнеры» [91]

Дробильно-перегрузочный пункт (ДПП) предлагается монтировать на концентрационном горизонте с отметкой +310 м. После дробления и погрузки горная масса транспортируется двухленточным КНК на поверхность (отметка +510 м). Разгрузка горной массы с линейной части конвейера на поверхности производится в бункер-дозатор. После вторичной перегрузки материал автотранспортом доставляется до пунктов назначения (порода – в отвалы, полезное ископаемое – на склад).

Задача по изменению системы вскрытия карьера осложняется тем, что необходимо сохранить проектные контуры карьера, которые не предусматривались для строительства крутонаклонного подъемника. Поэтому выбор места расположения подъемника осуществлялся исходя из наличия свободных площадок. Таким образом, была выделена наиболее подходящая площадка в центральной части карьера (рис.6.7).

КНК устанавливается практически без дополнительных горно-подготовительных работ на участке борта, что не сдерживает развитие горных работ по всему контуру карьера, не требует прокладки специальных траншей или проходки стволов.

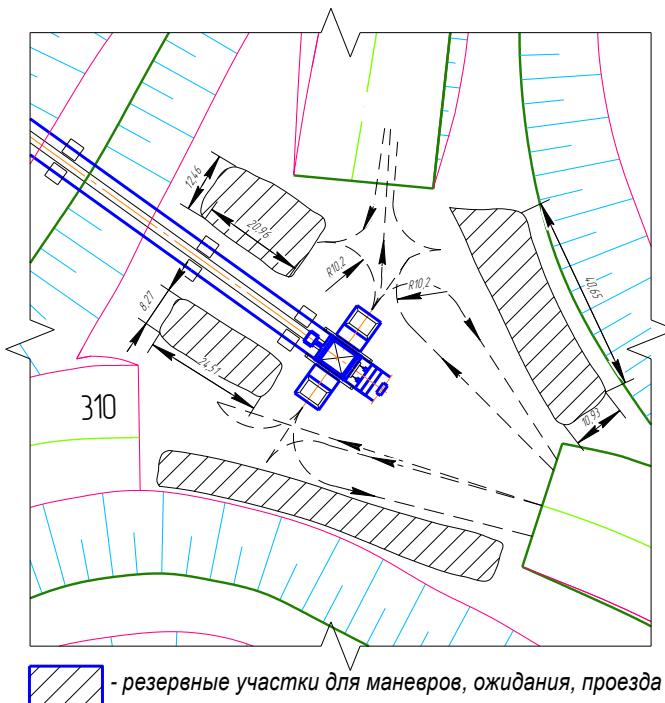


Рисунок 6.7 – Параметры площадки на концентрационном горизонте

КНК проектируется в открытом исполнении. Для увеличения продолжительности периода использования системы вскрытия с КНК в карьере до начала строительства КНК необходимо привести северо-западный борт в предельное положение, сохранив проектные размеры берм безопасности, на которых будут монтироваться железобетонные основания под опоры конвейерного подъемника.

Конвейер состоит из секций, размер которых определяется в зависимости от высоты уступа в погашенном состоянии и угла наклона конвейерного става. Монтаж секций осуществляется с помощью крана.

Одновременно с началом сборки КНК производится строительство перегрузочного пункта на поверхности. Монтаж дробильно-перегрузочного пункта в карьере производится после окончания сборки нижней части конвейера.

Для увеличения продолжительности периода использования новой системы вскрытия с конвейерным подъемником необходимо изменить направление развития горных работ в северной части месторождения для того, чтобы ускорить постановку в нерабочее положение участка борта карьера, на котором планируется размещение КНК. Был произведен подсчет объемов пород, подлежащих выемке. Результаты выполненного горно-геометрического анализа приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Объемы горных пород, подлежащих выемке на северо-западном участке борта карьера

Слой	Площадь руды, м ²	Объем руды, м ³	Площадь вскрыши, м ²	Объем вскрыши, м ³
440-430	0	0	7 756,00	77 560,00
430-420	0	0	7 928,00	79 280,00
420-410	0	0	10 740,00	107 400,00
410-400	0	0	12 412,00	124 120,00
400-390	0	0	16 292,00	162 920,00
390-380	0	0	24 000,00	240 000,00
380-370	0	0	29 496,00	294 960,00
370-360	1 860,00	18 600,00	29 080,00	290 800,00
360-350	3 312,00	33 120,00	31 788,00	317 880,00
350-340	6 368,00	63 680,00	45 584,00	455 840,00
340-330	14 480,00	144 800,00	32 784,00	327 840,00
330-320	5 880,00	58 800,00	33 652,00	336 520,00
320-310	5 876,00	58 760,00	32 628,00	326 280,00
ИТОГО	37 776,00	377 760,00	314 140,00	3 141 400,00

Таким образом, для того чтобы ускорить строительство дробильно-конвейерного комплекса и увеличить продолжительность периода его использования, необходимо изменить направление развития горных работ и привести участок борта в конечное (предельное) положение и извлечь при этом 3 141 400 м³ вскрышных пород. Объем попутной добычи составит 377 760 м³ руды. Изменение параметров системы вскрытия при реализации стратегии с использованием КНК приведены на рисунках 6.8, 6.9.

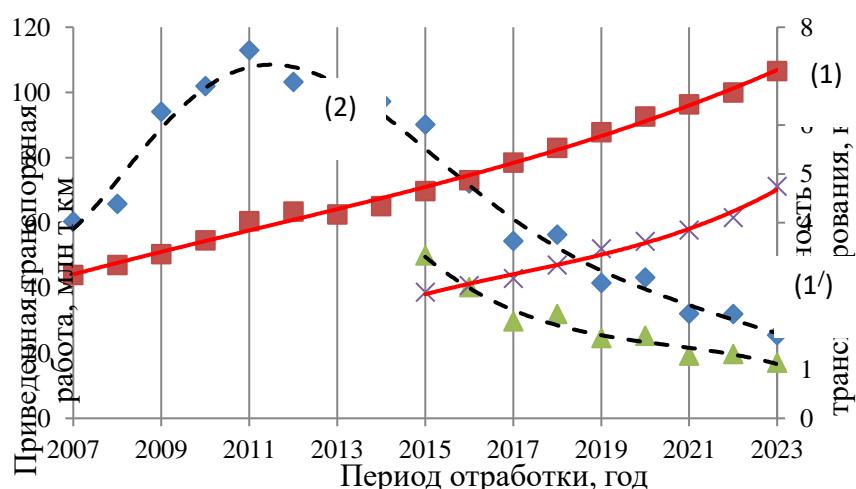


Рисунок 6.8 – Влияние КНК на изменение дальности транспортирования (1) и величины транспортной работы (2): (1) и (2) – ^(2/) перед КНК, (1/) и (2/) – после ввода КНК

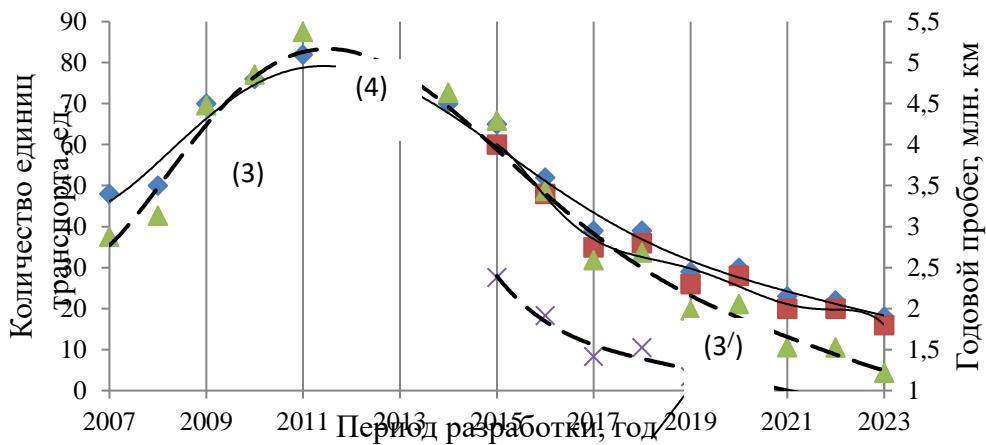


Рисунок 6.9 - Влияние КНК на изменение количества автосамосвалов (3) и годового пробега (4): (1) и (2) – до ввода КНК, (3') и (4') – после ввода КНК

Зависимости, изображенные на рисунках 6.8 и 6.9, показывают, что с вводом в эксплуатацию дробильно-конвейерного комплекса на базе КНК сократятся следующие показатели:

- средневзвешенная дальность транспортирования снизится на 2,07 км;
- количество автосамосвалов уменьшится на 5 единиц;
- суммарный годовой пробег самосвалами уменьшится на 1,913 млн.км;
- приведенная транспортная работа уменьшится на 40,158 млн.т·км.

Предлагаемое изменение системы вскрытия положительно повлияет на экономические показатели деятельности карьера (рис. 6.10).

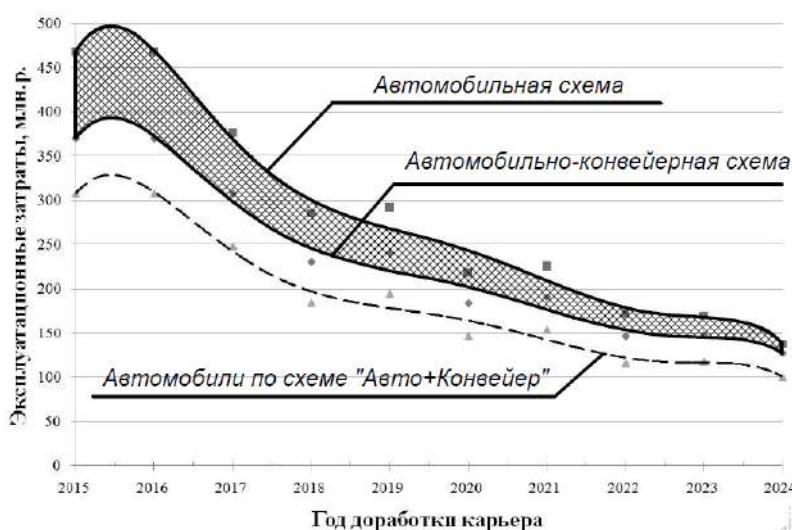


Рисунок 6.10 - Влияние КНК на изменение количества автосамосвалов (3) и годового пробега (4): (1) и (2) – до ввода КНК, (3') и (4') – после ввода КНК

Совокупный дисконтированный доход от реализации данного решения составил 103,04 млн. руб.

Изменение системы вскрытия и ввод в эксплуатацию КНК также приведет к снижению выбросов загрязняющих веществ. Это достигается снижением количества автосамосвалов, работающих в карьере. Снижение объемов выбросов по годам при использовании новой системы вскрытия представлено на рис. 6.11.

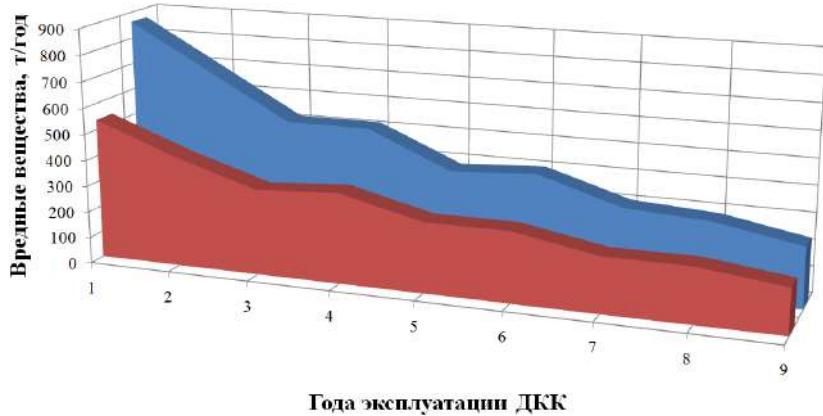


Рисунок 6.11 – Снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при изменении системы вскрытия

Таким образом, изменение системы вскрытия соответствует основным принципам устойчивого развития горнотехнической системы, обеспечивая не только экономическую эффективность реализации предлагаемых решений, но и снижение негативного воздействия на окружающую среду и улучшение условий работы персонала в карьере. Эффективность использования системы вскрытия с комбинированным транспортом во многом зависит от продолжительности использования конвейерного подъемника. Чем более продолжительное время он применяется, тем выше эффективность системы вскрытия. В дальнейшем была рассмотрена возможность применения карьерного подъемника при реализации стратегии перехода на открытого-подземный способ разработки месторождения Малый Куйбас.

В переходные периоды с открытого способа разработки на открытого-подземный или подземный необходимо дополнительно необходимо учитывать условия строительства и эксплуатации подземного рудника, а также существующие параметры карьера на период принятия решения.

6.2 Разработка варианта системы вскрытия в переходный период с открытого на подземный способ разработки на месторождении Юбилейное

Реализация предлагаемых в работе мероприятий рассмотрена в переходный период с открытого способа разработки на открыто-подземный на карьере Юбилейный ООО «Башкираская медь» [211].

В настоящее время карьере Юбилейный осуществляется доработка запасов месторождения открытым способом и производится строительство подземного рудника для разработки законтурных запасов. Для условий переходного периода было предложено изменение системы вскрытия путем формирования съезда на западном борту карьера обеспечивающего транспортный доступ ко дну карьера, и к порталу подземного наклонного съезда на отм. + 270 м. Данные решения направлены на обеспечение эффективности и безопасности функционирования подземного рудника. Размещение системы транспортных съездов только на западном борту позволит отказаться от использования участка карьерной автодороги восточного борта карьера. Так как транспортная берма, расположенная на восточном борту карьера, не будет использоваться и поддерживаться. Таким образом, при изменении системы вскрытия восточный борт карьера не разносится, так как по нему не предусматривается движение транспортных средств и на его площадках не планируется размещение оборудования (рис. 6.12).

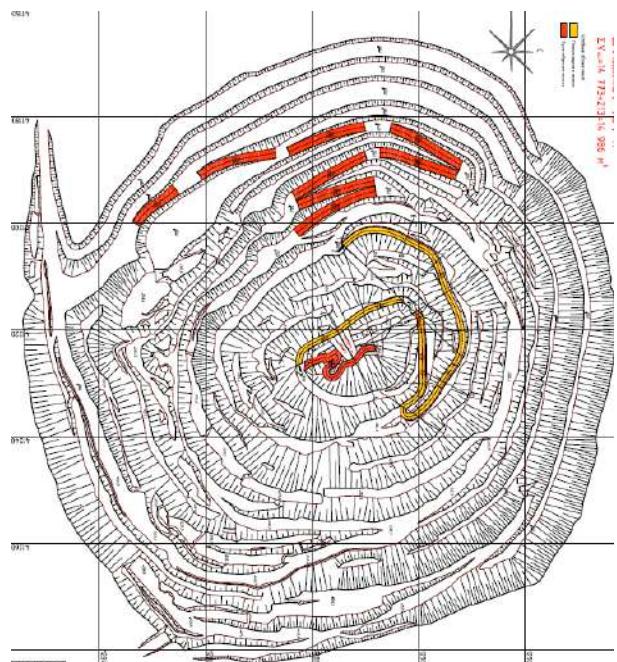


Рисунок 6.12 – Карьер с измененной системой вскрытия на период доработки запасов открытым способом

На выбор варианта изменения системы вскрытия и размещения транспортной бермы в отметках +270 м - + 90 м оказала влияние достаточно сложная конструкция

борта карьера в рассматриваемых отметках. Данный участок борта характеризуется углами наклона в пределах 39-47°, отсутствием замкнутых по периметру предохранительных берм, а лишь их отдельными участками, не имеющими продолжения, переменными параметрами нерабочих уступов по высоте и углу откоса. Создаваемый участок трассы должен обеспечить сохранность дна карьера, без пересыпки созданной емкости накопления карьерных вод.

При проработке возможных вариантов изменения системы вскрытия учитывались следующие влияющие факторы и ограничения:

- предельно допустимый уклон съездов составляет 150%;
- ширина транспортной бермы должна соответствовать условиям для одностороннего движения автосамосвала Volvo A40D;
- для отсыпаемых участков трассы рассмотреть возможность использования вскрышных пород от проходки подземных выработок и разноса борта карьера;
- рассмотреть возможность использования ранее пройденных участков трассы, а также участков предохранительных берм;
- не располагать транспортную берму на участках борта карьера, на которых происходят деформационные процессы в виде осыпания горных пород;
- размещение участка транспортной бермы не должно проходить в зоне водосточного борта.

Исходя из обозначенных выше факторов и ограничений выбор вариантов системы вскрытия представляется как сложная пошаговая задача с рассмотрением возможных вариантов и выбора наиболее целесообразного.

Изначально была рассмотрена возможность размещения трассы только на западном борту карьера, исходя из этого были разработаны первые пять вариантов. Первый рассмотренный вариант представлен на рис. 6.13. Преимуществом данного варианта является возможность использования после расчистки имеющегося участка трассы до отм. +202 м. Данный участок трассы имеет достаточную ширину, для использования автосамосвала Volvo A40D. В дальнейшем необходима отсыпка участка трассы до существующей площадки на отм. +175,9 м, на которой формируется поворотная площадка, далее частично по имеющейся площадке, а частично

по насыпи до отм + 150 м, на которой формируется следующая разворотная площадка и затем также частично по площадке, а частично по отсыпаемой части до от. + 120 м, где транспортная берма примыкает к существующему участку трассы, выходящему на дно карьера. Уклон формируемой трассы на разных участках изменяется от 93% до 150%.

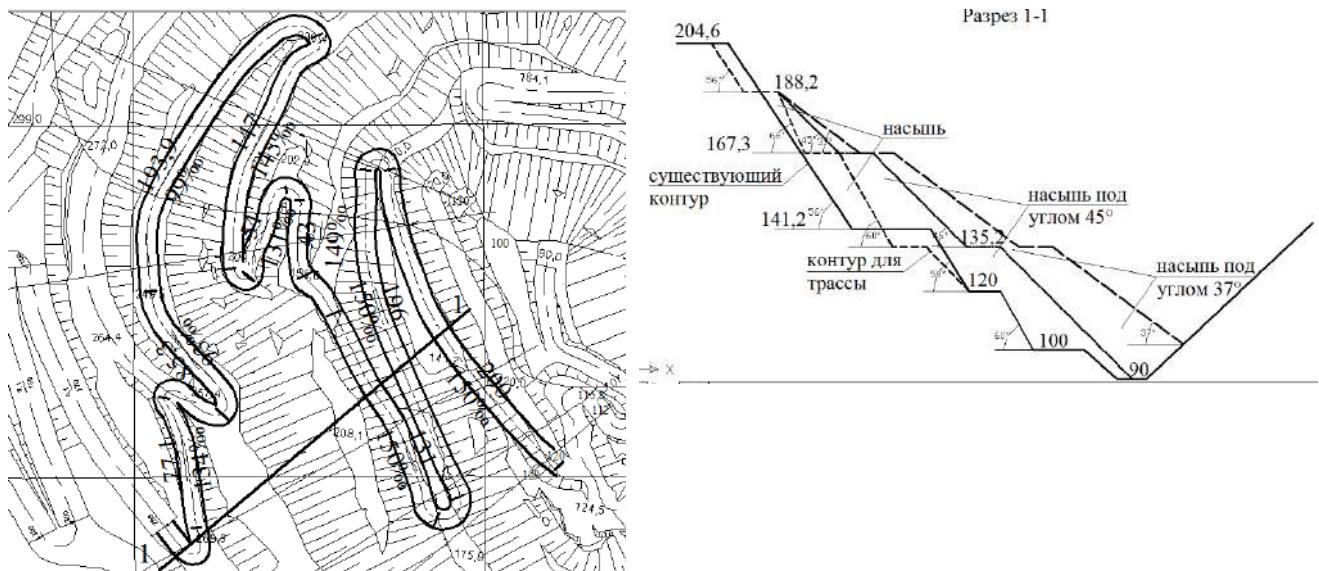
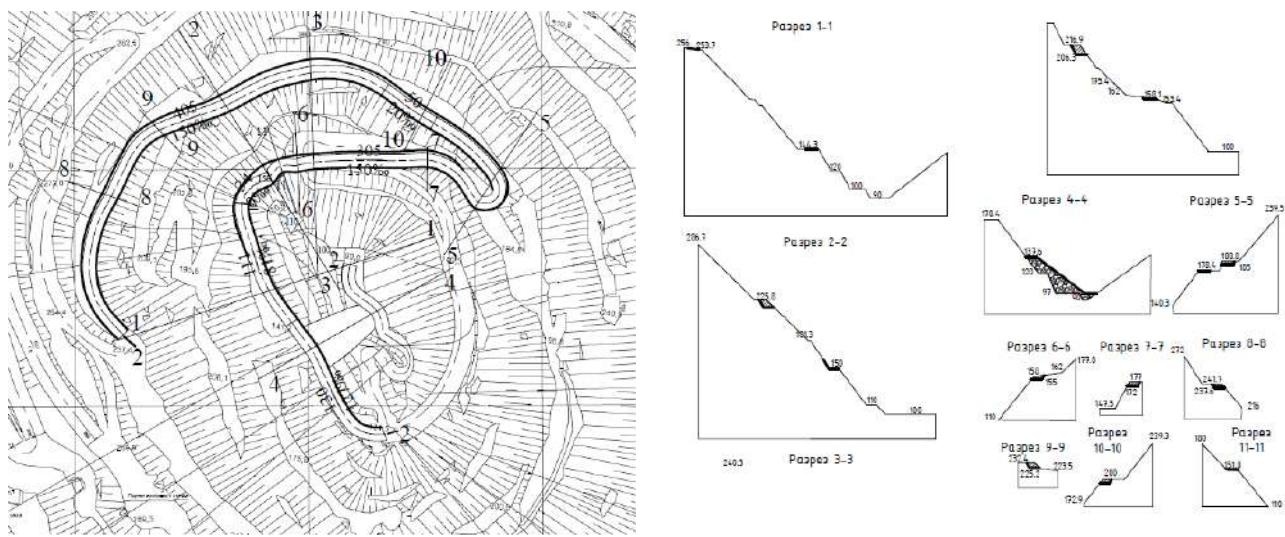


Рисунок 6.13 – Предварительный вариант 1 транспортной бермы в плане и на характерном разрезе

Недостатком данного варианта является то, при формировании нижние участки трассы попадают в зону отсыпки от верхних участков, что приводит к невозможности проходки данной части бермы. Также необходимо отметить, что при данном варианте участок трассы до отм. +230 м попадает в зону влияния подземного рудника, что предполагает дополнительные мероприятия по мониторингу данного участка трассы. Данный вариант был исключен из дальнейшего рассмотрения. Сложность формирования системы вскрытия в данных условиях привела к тому, что итоговый вариант разрабатывался путем пошагового приближения. Было последовательно разработано 7 вариантов. Каждый новый вариант исключал недостатки предыдущего.

Окончательный, принятый вариант 7 формирования трассы по представлен на рис. 6.14. Объемы выемки породы по данному варианту составит 37,7 тыс. м³,

объем подсыпки – 14,98 тыс. м³. Длина участка трассы между отм. +270 м и отм. +90 м составит 1035 м.



стратегий развития ГТС с соответствующими вариантами формирования системы вскрытия [36, 64, 111, 164, 165]. Вариант реализации стратегии изменения параметров текущего этапа разработки рассмотрен в п. 6.1 диссертации.

Месторождение в настоящее время находится в стадии отработки открытым способом по действующему проекту. В тоже время результаты геологической разведки подтвердили наличие запасов за проектным контуром карьера. Данное горнодобывающее предприятие является единственным собственным поставщиком железорудного сырья для ПАО «ММК». Поэтому продолжение добычи руды на месторождении является своего рода стратегической задачей для металлургического комбината. Для предприятия вовлечения в разработки запасов за проектным контуром текущего этапа разработки рассматривалась возможность реализации следующих стратегий – переход на новый этап открытого способа разработки и переход на открыто-подземный и в последующем на способ добычи руды. Первоначально рассматривается возможность продолжения открытых горных работ на месторождении.

Карьер условно разделен на две части – Южную и Северную. По существующему проекту разработки месторождения отметка дна Северной части на конец отработки на 20 м ниже, чем в Южной. В Южной части предусмотрено формирование отвала из вскрышных пород Северной части карьера объемом до 11,0 млн.м³. Для перехода на новый этап открытого способа разработки необходимо пересмотреть контуры карьера на конец отработки и изменить параметры существующей системы вскрытия. При выполнении исследований принималось условие, что на карьере сохранится горнотранспортное оборудование аналогичное применяемому в карьере в настоящее время. Анализ геологической информации и выполненный горно-геометрический анализ карьерного поля показал, что наиболее целесообразным при переходе на новый этап открытых горных работ является более значительное увеличение глубины Южной части карьера – на 80 м, а Северной – на 45 м. В то же время отработка нового этапа месторождения будет характеризоваться существенным ростом приведенной транспортной работы, особенно при перемещении вскрышных пород из Южной части карьера. Осложняющим фактором перехода на новый этап открыты горных работ является наличие внешних отвалов практически по всему периметру карьера, что ограничивает возможности разноса бортов

карьера. Наибольшее количество вскрышных пород размещено в отвале, расположенному севернее и северо-западнее от карьера. Исходя из этого конструировались возможные варианты контуров карьера на конец отработки этапа.

Переход на новый этап открытых горных работ без разрыва в добыче руды возможен только при хорошей организации горных работ управлению интенсивностью разработки участков, своевременному перераспределению по участкам карьера горнотранспортного оборудования и обеспечения заданной динамики изменения параметров системы вскрытия. Изменение параметров системы вскрытия на участках карьера заключается в частичном изменении формы трассы, при сохранении параметров траншеи. Положение горных работ на карьере Малый Куйбас в период изменения параметров существующей системы вскрытия представлено на рис. 6.15.

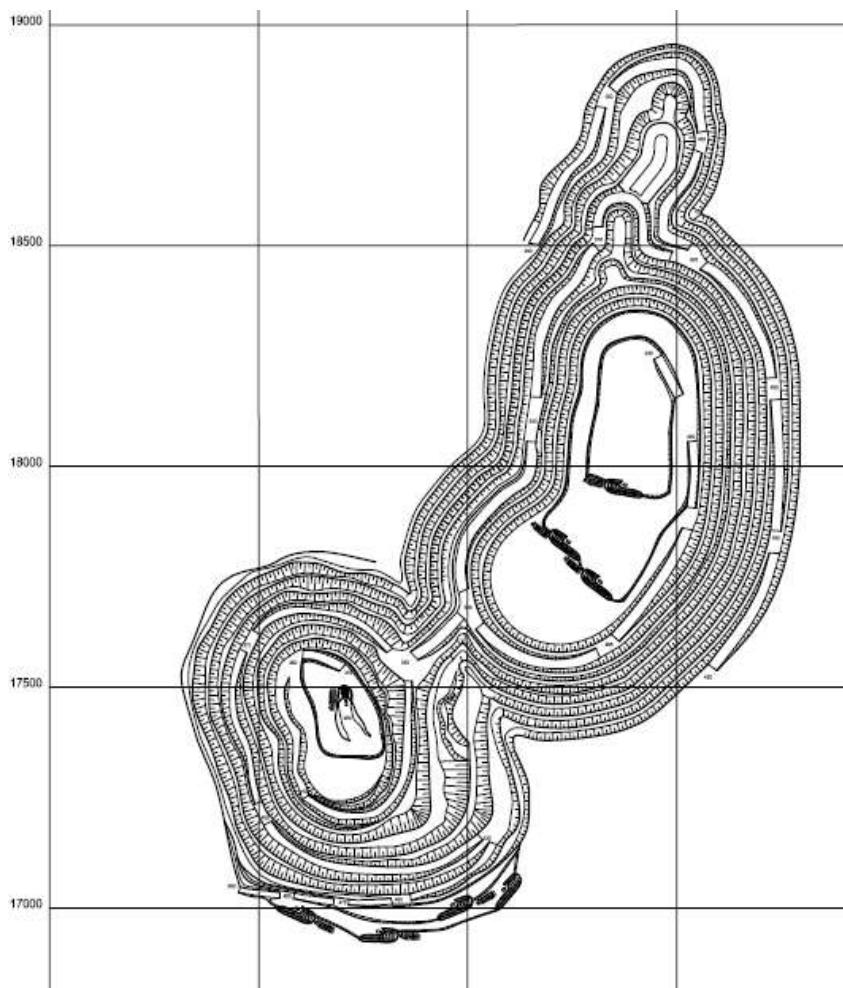


Рисунок 6.15 – Промежуточное положение горных работ на карьере Малый Куйбас при изменении системы вскрытия для реализации стратегии

В итоге была предложена последовательность отработки участков, предусматривающая первоочередную отработку Северной части до проектных границ и дальнейшую интенсивную доработку Южной части. При этом в Южной части в течение

этапа формируется участок ВНБ, который в дальнейшем разносится. В отличие от высокопроизводительных карьеров, типа Михеевского, на данном карьере для реализации стратегии возможно сформировать ВНБ, продолжительность разноса которого составит около 3 лет. Положение горных работ на карьере Малый Куйбас на период доработки запасов при доработанной Северной части и при расконсервации ВНБ в Южной части представлено на рис. 6.16.

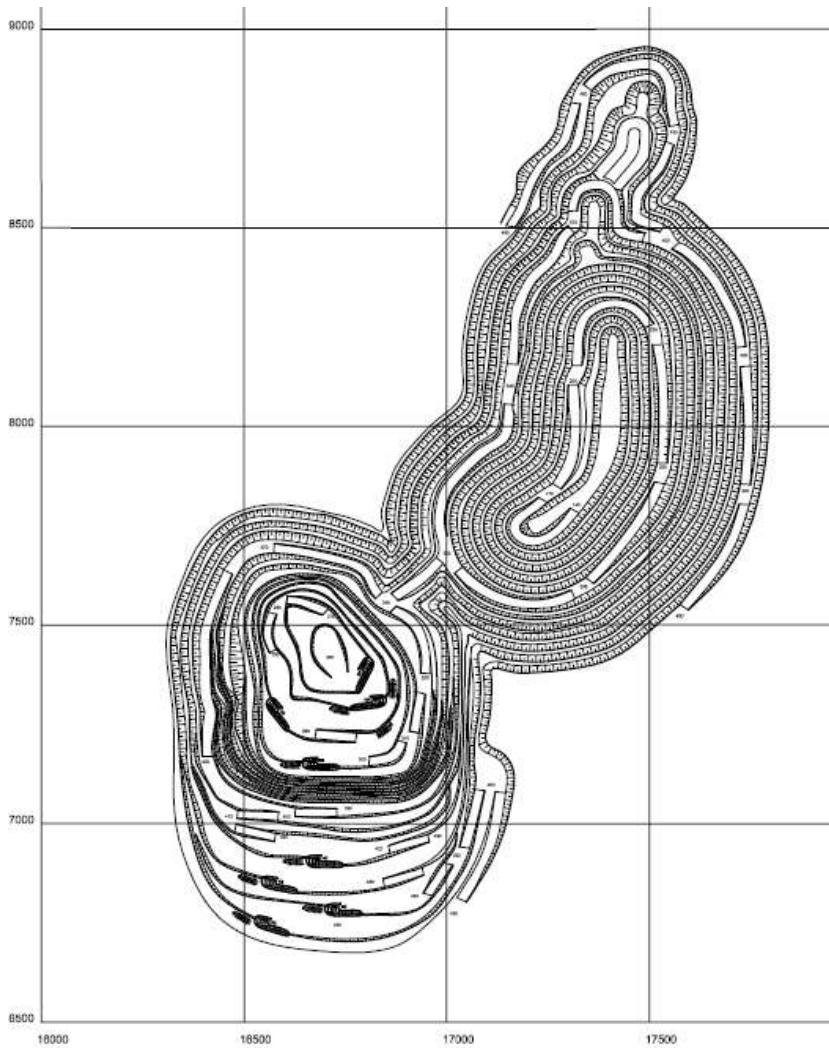


Рисунок 6.16 – Положение горных работ на карьере Малый Куйбас на период доработки запасов с измененными контурами карьера

Контуры карьера на конец отработки нового этапа открытых горных работ в сравнении с проектными контурами карьера по действующему проекту представлены на рис. 6.17, на разрезе контуры представлены на рис. 6.18.

В структуре затрат на выполнение основных технологических процессов, как и отмечалось ранее, будут затраты на транспортирование горной массы. Для снижения данных затрат была рассмотрена возможность размещения части вскрышных пород в выработанном пространстве Северной части карьера, что позволит значительно сократить приведенную транспортную работу т.к. большую часть

пути груженые самосвалы будут перемещаться с грузом вниз для отсыпки внутреннего отвала. При этом в отработанном пространстве Северной части карьера возможно сформировать внутренний отвал объемом 42,0 млн. м³. Перемещение вскрышных пород из Южной части карьера во внутренний отвал позволит значительно сократить приведенную транспортную работу и улучшить технико-экономические показатели нового этапа разработки.

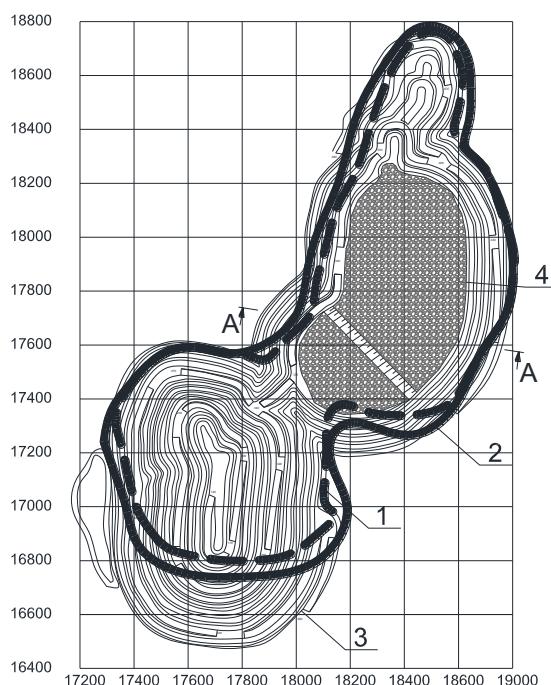


Рисунок 6.17 - План карьера с нанесенными параметрами карьера по этапам разработки: 1 – контур карьера на современное состояние; 2 – контур карьера на конец отработки этапа по текущему проекту; 3 – проектируемый контур карьера на конец отработки этапа по предлагаемому варианту; 4 – проектируемый внутренний отвал

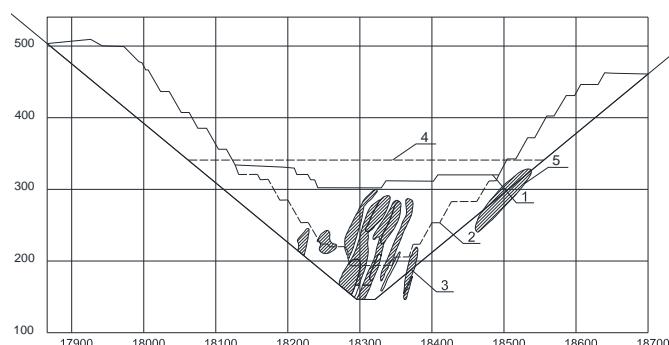


Рисунок 6.18 - Разрез карьера по линии с нанесенными параметрами этапов разработки: 1 – контур карьера на современное состояние; 2 – контур карьера на конец отработки этапа по текущему проекту; 3 – проектируемый контур карьера на конец отработки этапа по предлагаемому варианту; 4 – контур внутреннего отвала на конец отработки; 5 – рудные тела.

Предлагаемый вариант развития позволит осуществить разработку следующего этапа открытых горных работ с сохранением количества горнотранспортного оборудования на запроектированном для существующего этапа уровне.

Обеспечить постоянный парк оборудования представляется возможным благодаря поддержанию постоянной производительности по руде и вскрыше и обеспечению относительно постоянной величины приведенной транспортной работы вплоть до периода угасания горных работ (рис. 6.19). На рисунке 6.19 сокращение транспортной работы, начиная с 2026 года, связано с периодом начала формирования внутреннего отвала в отработанной Северной части карьера.

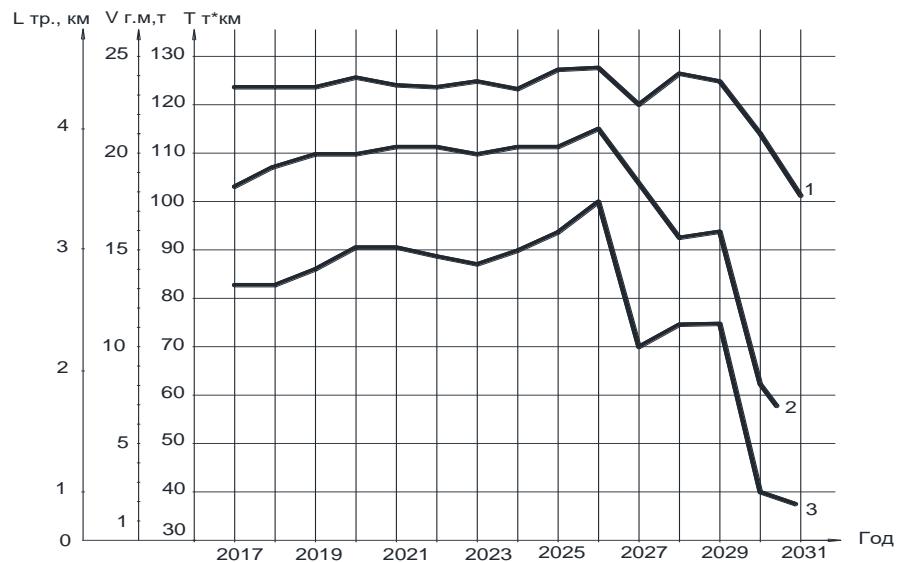


Рисунок 6.19 - Динамика объемов добычи и транспортной работы по годам отработки: 1 – объем горной массы; 2 – приведенное расстояние транспортирования; 3 – приведенная транспортная работа

Согласно действующему проекту на разработку месторождения, отработка запасов железных руд на месторождении открытым способом предусмотрена до 2023 года. В то же время эксплуатационная разведка, выполненная на месторождении, показала наличие запасов полезного ископаемого за проектными контурами карьера, ниже дна карьера до отм. -100 м и южнее карьера до отм -540 м, которые, по предварительной оценке, составляют более 70 млн. тонн с перспективой доразведки запасов в северной части месторождения. Осуществлять добычу руды за проектными контурами карьера открытым способом достаточно сложно. Поэтому своевременное строительство и ввод в эксплуатацию подземного рудника для отработки запасов железных руд месторождения Малый Куйбас за контурами карьера позволят стабильно обеспечивать более 10% потребности ОАО «ММК» в руде. С данной целью была рассмотрена стратегия перехода на открыто-

поземный, а затем на подземный способ разработки месторождения.

Были выполнены исследования по выбору технологических схем доработки месторождения «Малый Куйбас» комбинированным способом. В ходе исследований производительность открытого и подземного рудника была принята равной существующей проектной производительности карьера по руде, т.е. до 2,4 млн.т/год, а производительность карьера по вскрыше – до 24 млн.т/год.

Разработка запасов железных руд подземным способом возможна системами с обрушением выработанного пространства. При этом большая часть запасов расположена ниже дна карьера и в зону сдвижения попадает практически все выработанное пространство карьера (рис. 6.20).

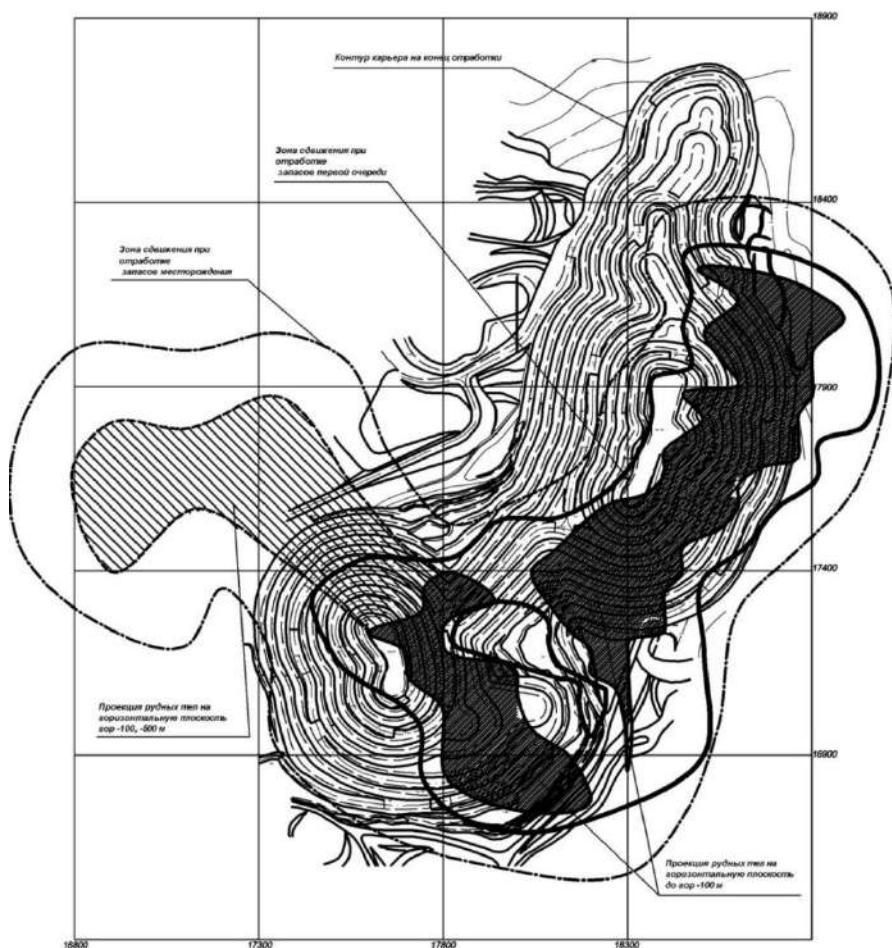


Рисунок 6.20 - Зоны сдвижения при отработке месторождения Малый Куйбас подземным способом

В тоже время, как было рассмотрено выше, формирование системы вскрытия с использованием выработанного пространства карьеров позволит значительно сократить сроки и затраты на строительство подземного рудника, что также учитывалось при разработке технологических схем.

Вскрытие месторождения на глубину первой ступени осуществляется до гор -100м.

После построения зоны сдвижения были определены места заложения вскрывающих выработок. Под эту зону в карьерном пространстве не попадают две площадки - находящиеся в южной и северной части месторождения. Сохранение в целиках системы автомобильных съездов для доставки руды с подземного рудника не представляется возможным, поэтому была рассмотрена возможность строительства крутонаклонного подъемника карьере с оставлением целиков только в зоне его размещения. При этом его строительство планировалось таким образом, чтобы сначала он использовался для доработки карьера, а затем для целей подземного рудника. Исходя из производительности рудников и параметров карьера на конец отработки предложено строительство карьерного подъемника с перегрузочной площадкой в центральной части карьера и оставлением охранных целиков для его размещения на борту. Таким образом, для доработки месторождения Малый Куйбас комбинированным способом были рассмотрены следующие варианты вскрытия запасов первой очереди.

Первый вариант.

Вскрытие осуществляется рудовыдочным наклонным съездом и лифтовыми, и вентиляционными восстающими (рис. 6.21).

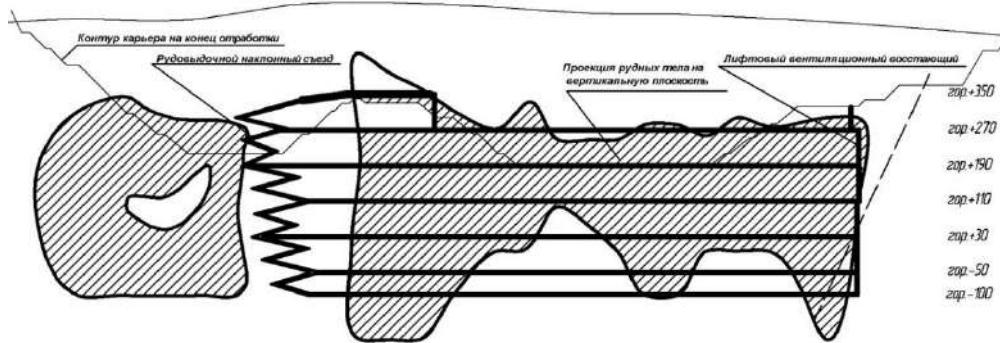


Рисунок 6.21 - Схема вскрытия рудовыдочным наклонным съездом, расположенным в центральной части месторождения.

Данный вариант предполагает оставление охранного целика на юге месторождения, для сохранности системы съездов в карьерном пространстве, по которым будет осуществляться выдача горной массы на поверхность. Лифтовые и вентиляционные восстающие предназначены для обеспечения вентиляции и служат запасными выходами для эвакуации людей.

Отрабатываемые запасы при данном варианте вскрытия составят 25,9 млн.т.

Второй вариант.

Вскрытие осуществляется рудовыдачным наклонным съездом, лифтовыми и вентиляционными восстающими в северной части и вертикальным стволом - в южной (рис. 6.22). Главный рудовыдачной наклонный съезд, расположенный в центральной части карьера, предназначен для выдачи рудной массы на перегрузочную площадку карьерного подъемника отм. 310 м. Данная схема так же предусматривает наклонный съезд до горизонта +310 пройденный в северной части карьера и обходную выработку для доставки оборудования и материалов на площадку скипового подъема. Ниже горизонта +310 проходится каскад лифтовых восстающих. Вспомогательный ствол предназначен для вентиляции и эвакуации людей в случае аварии.

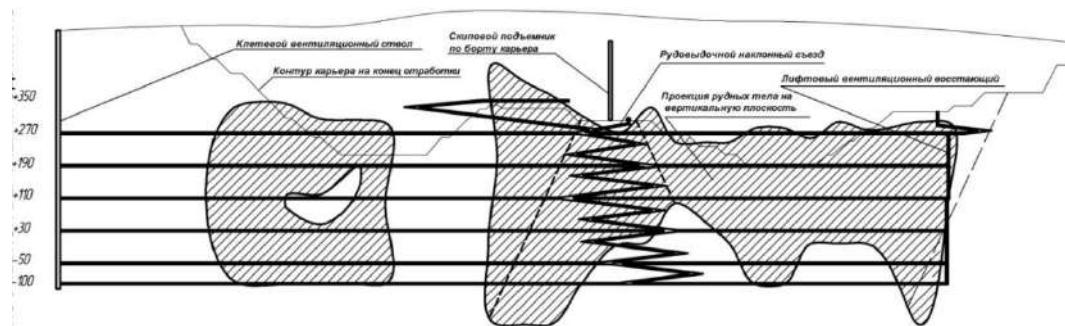


Рисунок 6.22 - Схема вскрытия рудовыдачным наклонным съездом с выдачей рудной массы со дна карьера круто наклонной скиповой установкой.

Для сохранения скипового подъёмника и площадки для перегрузки рудной массы в скип требуется оставление охранных целиков в центре месторождения. Отрабатываемые запасы с учетом оставления целиков составят 31,2 млн.т.

Третий вариант.

Вскрытие осуществляется наклонным рудовыдачным съездом на севере месторождения, лифтовыми и вентиляционными восстающими в центральной его части, а также вспомогательным стволом на юге (рис. 6.23).

При данном варианте вскрытии оставление охранных целиков не требуется, запасы отрабатываются полностью и составят 39,4 млн.т. Однако выдача рудной массы осуществляется по наклонному съезду, расположенному в северной части карьера, а рудный склад на его южном борту, что повлечет за собой значительное увеличение затрат на транспортировку полезного ископаемого.

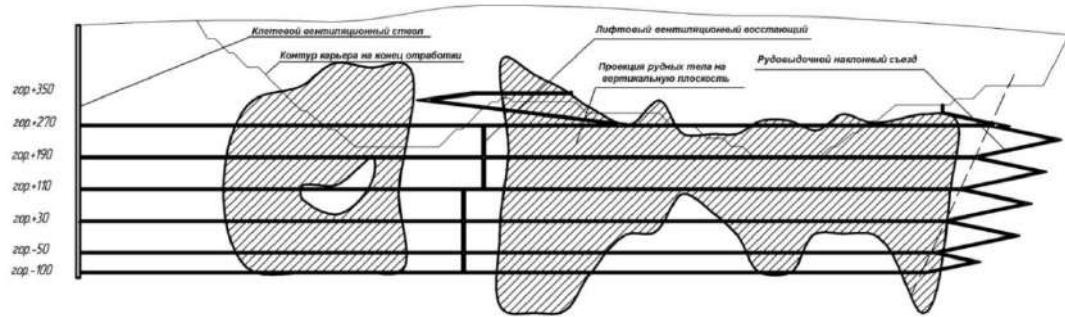


Рисунок 6.23 - Схема вскрытия рудовыдочным наклонным съездом, расположенным в северной части месторождения.

Четвертый вариант.

Данный вариант вскрытия запасов месторождения аналогичен второму за исключением заглубления подъемника до гор. -100 м, строительства капитальных рудоспусков для перепуска полезного ископаемого до данного горизонта и проходки наклонного съезда в северной части месторождения для вентиляции, спуска и подъема оборудования, материалов (рис. 6.24).

Для сохранения карьерного подъемника потребуется оставление охранного целика в центре месторождения. Отрабатываемые запасы с учетом оставления целиков составят 31,2 млн.т.

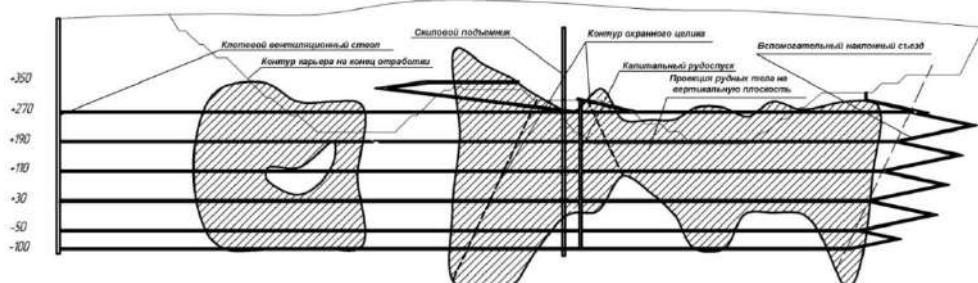


Рисунок 6.24 - Схема вскрытия рудовыдочным наклонным скиповым стволом.

Пятый вариант.

Доработка запасов месторождения возможна подземным способом без использования выработанного пространства карьера.

Вскрытие осуществляется четырьмя вертикальными стволами, главный рудовыдачной ствол со скрип-клетевым подъемом, вспомогательный воздухоподающий ствол – с клетевым подъемом, два вентиляционных – с клетевым подъемом (рис. 6.25). Схема вскрытия – диагональная, главный и вспомогательный стволы располагаются в центре, вентиляционные – по флангам шахтного поля.

При данном варианте вскрытии оставление охранных целиков не требуется, запасы отрабатываются полностью и составят 39,4 млн.т.

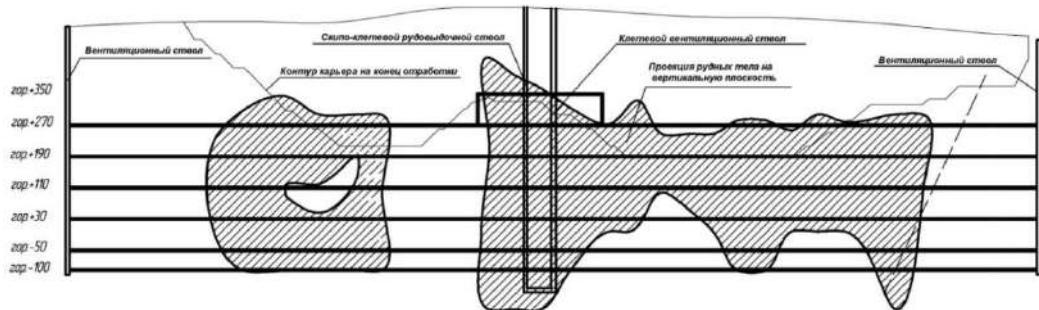


Рисунок 6.25 - Схема вскрытия рудовыдочным вертикальным стволовом

Шестой вариант.

Несмотря на то, что данная технологическая схема позволит полностью доработать запасы месторождения срок строительства рудника, как показывает практика, будет не менее 6-8 лет, в зависимости от количества проходческих забоев и применяемых комплексов механизации при строительстве вертикальных выработок, что вызовет разрыв в добычи полезного ископаемого. Избежать такого исхода можно при поэтапном вскрытии и комбинации первого и последнего вариантов (рис. 6.26).

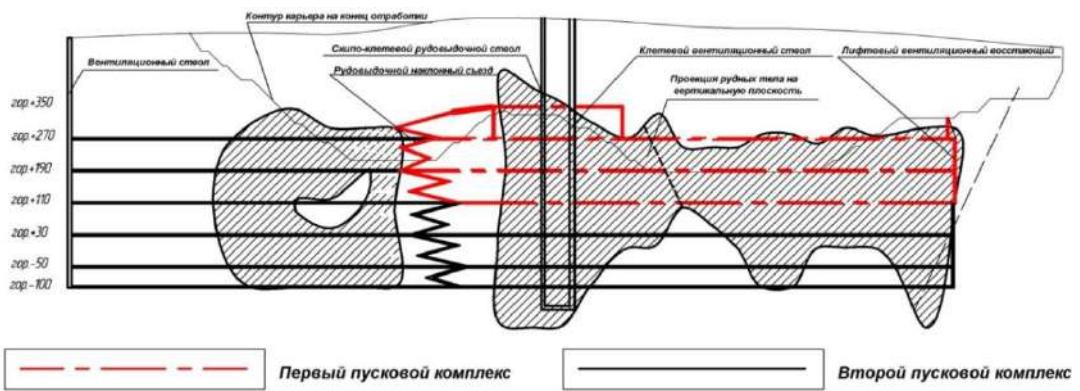


Рисунок 6.26 - Симбиоз схемы вскрытия вертикальными стволами и наклонным съездом со дна карьера.

Первый пусковой комплекс в данной технологической схеме включает в себя рудовыдочный наклонный съезд, пройденный до гор +100 м в центральной части карьера и лифтовый, и вентиляционный восстающие - в северной, что позволит сократить срок строительства и начать добычу в кратчайшие сроки.

Второй пусковой комплекс предусматривает строительство вертикальных стволов и доработку запасов месторождения без оставления охранных целиков.

Ввод в работу схемы с вертикальными стволами должен производиться в момент доработки запасов первого пускового комплекса, что предотвратит разрыв в добыче полезного ископаемого.

Для рассматриваемых технологических схем были выбраны комплексы технологического оборудования, разработаны графики строительства рудника и произведен расчет технико-экономических показателей. При выборе варианта вскрытия основной целью было обеспечение заданной производительности рудника при минимизации капитальных и эксплуатационных затрат. В ходе выполненных исследований было установлено, что достичь заданной годовой производственной мощности (2,4 млн.т./год) при минимальном сечении выработок исходя из условий вентиляции, возможно только при использовании крупногабаритной, высокопроизводительной самоходной техники, например автосамосвалов Sandvik TH680 грузоподъемностью - 80 т и ПДМ TORO 0011 грузоподъемностью 21 т. Результаты расчета показателей эффективности по вариантам комбинированной доработки месторождения Малый Куйбас представлены в табл. 6.5.

Таблица 6.5 – Исходные данные для экономического сравнения вариантов подземной доработки запасов месторождения Малый Куйбас

Показатели	Технологические схемы					
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Запасы, подлежащие освоению, млн.т.	25,9	31,2	39,4	31,2	39,4	39,4
Годовая производственная мощность, млн.т./год				2,4		
Срок эксплуатации запасов, годы	13,1	17,4	19,8	17,3	22	17,4
Объем горно-капитальных работ, м ³	771061,6	1055186	1068773	810163	1057980	973968

Оценка целесообразности переходного периода на подземный способ доработки запасов месторождения Малый Куйбас производилась путем сравнения технико-экономических показателей возможных вариантов. Капитальные затраты по вариантам перехода на подземную разработку представлен в табл.6.6. Расчет стоимости подъема по рассматриваемым вариантам системы вскрытия представлены в табл. 6.7.

Таблица 6.6 – Капитальные затраты по вариантам перехода на подземный способ доработки месторождения «Малый Куйбас»

Показатель	Варианты технологических схем доработки запасов месторождения Малый Куйбас подземным способом					
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
Капиталь-ные затраты, млн.р.	7277,89	10572,5	10734,9	8440,7	10528	8797,5
В т.ч. на ГКР	6901,54	9618,39	9765,95	7573,4	10184,2	8318,65
Общий срок инвестиро-вания, лет	12	13	15	11	18	16
В т.ч. первый этап, лет	4	6	5	5	7	7

Таблица 6.7 - Расчет стоимости подъема по вариантам системы вскрытия

Наименование	Удельные затраты на подъем, руб./м	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4		Вариант 5		Вариант 6	
		THC+авто		THC+скип		THC+авто		Скип+Скиповий ствол		Скиповий ствол		THC+авто	
		Длина, м	Затраты, руб./т	Длина, м	Затраты, руб./т	Длина, м	Затраты, руб./т	Длина, м	Затраты, руб./т	Длина, м	Затраты, руб./т	Длина, м	Затраты, руб./т
Транспортный наклонный съезд	0.02	3688	73.76	4018	80.36	4427	88.54	0	0.00	800	16.00	1966	39.32
Подъемник	0.14				98.8			625	284.362	625	85.56		
Карьерное пространство	0.0200	4800	96.00			4800	96.00		0		0	4800	96.00
Поверхность до рудного склада	0.0025	0	0.00	860	2.15	1460	3.65	860	2.15		0		
Итого			169.76		181.31		188.19		286.51		101.56		135.32

Из таблицы видно, что стоимость перемещения рудной массы по вариантам системы вскрытия существенно отличается. Самым дешевым способом перемещения рудной массы на поверхность при подземном способе добычи руды на месторождении Малый Куйбас является подземный скиповий подъем 101,56 р/т. Преимущества выдачи рудной массы на поверхность с использованием транспортных коммуникаций карьера сказываются только при небольшой длине подъема подземными автосамосвалами. В этом случае (при длине транспортирования по

наклонному съезду до 2 км) себестоимость подъема рудной массы на поверхность составит 135,32 р/т. При большей длине транспортирования подземными автосамосвалами себестоимость подъема увеличивается в 1,3 раза и составляет 281,31 р/т. Эффективным по затратам является вариант с использованием карьерного подъемника, однако, с учетом капитальных затрат на его строительство, важным фактором эффективности данного варианта системы вскрытия является продолжительность ее использования. Поэтому строительство подъемника первоначально для целей карьера, как было рассмотрено в п.6.1 с дальнейшим использованием его для целей подземного рудника делают данный вариант наиболее предпочтительным.

Расположение вскрывающих выработок на сводном ситуационном плане предприятия по рассматриваемым вариантам формирования системы вскрытия представлено на рис. 6.27.

Рассмотренные выше варианты системы вскрытия для выбора стратегии устойчивого развития железорудного карьера Малый Куйбас были оценены при помощи разработанной в диссертации методики. Дополнительно была рассмотрена стратегия прекращения функционирования ГДП на карьере с целью засыпки выработанного пространства отходами металлургического производства. Данная стратегия также имеет потенциальный интерес для ПАО «ММК» ввиду большого количества образующихся отходов и необходимости отчуждения площадей для их размещения. Поэтому были рассмотрены следующие возможные стратегии обеспечения устойчивого развития ГТС:

1. Изменение параметров текущего этапа (A1).
2. Переход на новый этап открытых горных работ (A2).
3. Переход на открыто-подземный способ разработки (A3).
4. Прекращение функционирования ГДП (A4).

В табл. 6.8 представлены результаты оценки проектных решений по показателям С1.1-С8.2, полученные по результатам выполненных для данного объекта исследований. Значения параметров C_{22} , C_{31} , C_{32} , C_{33} , C_{41} , C_{42} , C_{43} , C_{51} , C_{52} , C_{53} , C_{61} , C_{62} , C_{71} являются количественными и были определены в результате выполненных расчетов. Значения параметров C_{11} , C_{12} , C_{23} , C_{24} , C_{72} , C_{73} , C_{81} , C_{82} имеют качественную оценку лингвистическими переменными. Для перевода лингвистических переменных в количественную, бальную использовалась следующая шкала ожидаемых

значений параметра для рассматриваемой стратегии: 5 баллов - очень высокое; 4 балла – высокое; 3 балла – среднее; 2 балла – низкое; 1 балл - очень низкое.

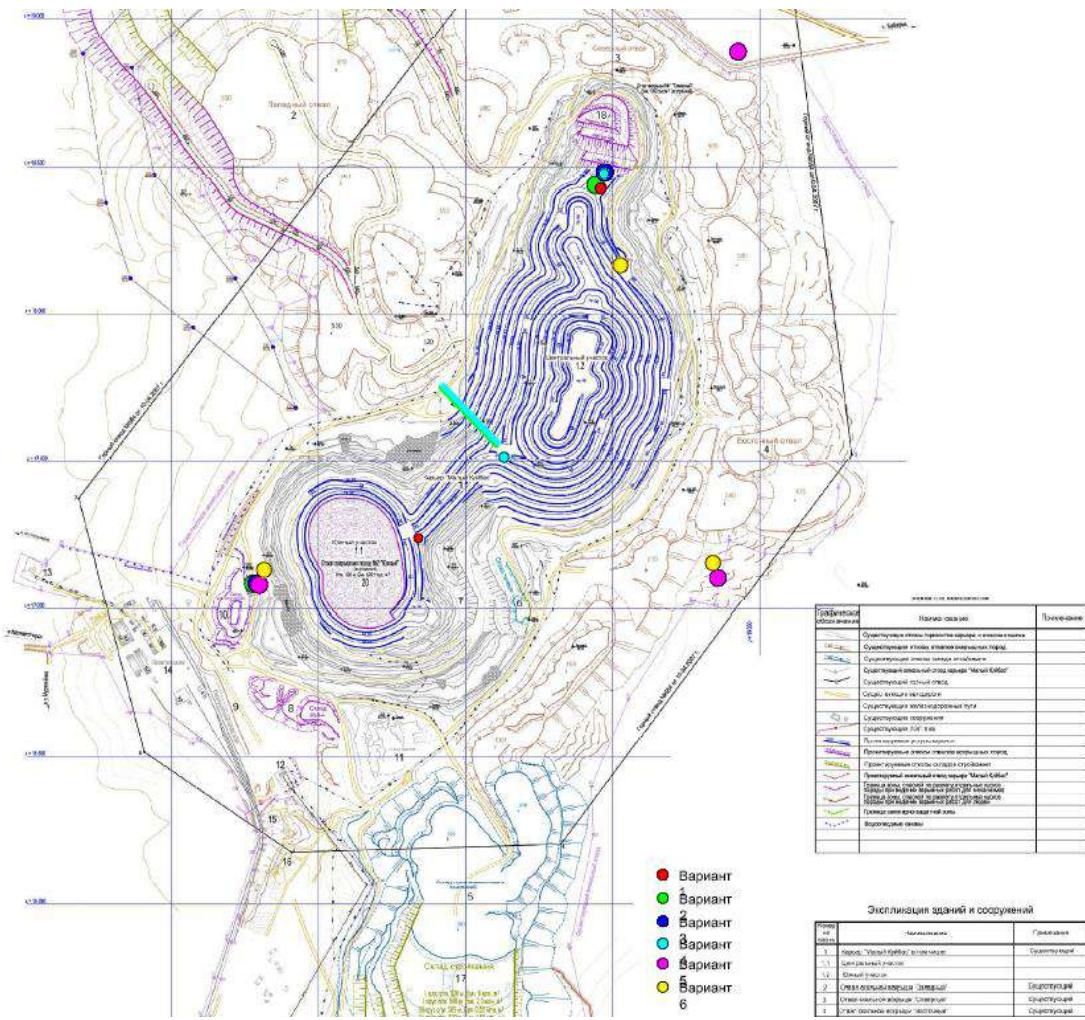


Рисунок 6.27 - Размещение вскрывающих выработок для различных вариантов переходных периодов на подземный способ доработки месторождения «Малый Куйбас» при доработке карьера по существующему проекту

Для экспертной оценки качественных параметров рассматриваемых стратегий были привлечены 6 экспертов, из которых 3 эксперта представители научно-исследовательского сектора, чувствовали в выполнении исследований для месторождения Малый Куйбас и 3 эксперта – представители ГОП Рудник ПАО «ММК» курирующие выполнение данных исследований. Были получены качественные оценки параметров для соответствующих альтернатив от каждого эксперта, например для параметра C_{71} среднее (A1); среднее (A2); высокое (A3); низкое (A4), которые переводились в количественные оценки и затем определялись расчетные среднегеометрические оценки.

Таблица 6.8 - Результаты оценки стратегий развития ГТС на примере М.Куйбас

Параметры		Стратегии развития ГТС			
		A1	A2	A3	A4
Один вид транспорта	C ₁₁	4.08	3.95	1.89	3.44
Комбинированный транспорт	C ₁₂	1.74	2.7	4.32	2.76
Количество транспортных средств, шт	C ₂₁	47	55	5	2
Производительность транспортного средства, млн.т/год	C ₂₂	0.48	0.53	0.32	0.7
Количество перегрузочных пунктов в карьере	C ₂₃	2.64	2.99	3.98	1.38
Производительность перегрузочного пункта	C ₂₄	2.76	2.61	4.13	1.82
Расстояние транспортирования, км	C ₃₁	4.1	7.3	1.5	2.0
Высота подъема горной массы, м	C ₃₂	470	550	290	470
Объем перевозок, млн.т/год	C ₃₃	22.0	24.0	2.7	0.5
Глубина вскрываемой части карьера, м	C ₄₁	210	180	100	0.1
Ширина (сечение) выработки, м	C ₄₂	27	29	21	19
Протяженность (уклон) выработки, м	C ₄₃	3400	2925	1625	500
Продолжительность формирования системы вскрытия, лет	C ₅₁	10	15	6	1
Продолжительность этапа разработки, лет	C ₅₂	10	15	25	30
Число этапов разработки, шт	C ₅₃	1	2	1	1
Капитальные затраты, млн. руб	C ₆₁	265.58	1623.9	10572	37
Эксплуатационные затраты, млн.р/год	C ₆₂	217.3	312.4	722.92	52
Ожидаемый совокупный доход	C ₆₃	3.25	3.44	3.73	2.14
Рост производительности труда	C ₇₁	3.44	2.83	4.13	1.52
Условия работы персонала	C ₇₂	3.44	2.3	2.95	2.09
Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования	C ₇₃	2.86	1.64	3.57	1.78
Объемы выбросов загрязняющих веществ	C ₈₁	2.22	3.13	2.61	1.97
Объем образующихся отходов	C ₈₂	2.49	4.57	1.89	1.15e

Вес параметров и показателей устойчивого развития ГТС был принят на основе исследования главе 3. Итоговые весовые коэффициенты показателей С1.1-

С8.2 представлены в табл. 6.9.

Таблица 6.9 - Весовые коэффициенты показателей системы вскрытия

Параметры	Вес		
	Академи- ческие эксперты	Эксперты ГДП	Общие
Один вид транспорта (С1.1)	0.0047	0.0137	0.0085
Комбинированный транспорт (С1.2)	0.0555	0.1178	0.0829
Количество транспортных средств (С2.1)	0.0273	0.0268	0.0254
Производительность транспортного средства (С2.2)	0.0497	0.0931	0.07086
Количество перегрузочных пунктов в карьере (С2.3)	0.0452	0.0004	0.0259
Производительность перегрузочного пункта (С2.4)	0.0372	0.0647	0.0488
Расстояние транспортирования (С3.1)	0.0286	0.0493	0.0367
Высота подъема горной массы (С3.2)	0.0477	0.0324	0.0385
Объем перевозок (С3.3)	0.0346	0.0540	0.0466
Глубина вскрываемой части карьера (С4.1)	0.0416	0.0753	0.0620
Ширина (сечение) выработки (С4.2)	0.0125	0.0608	0.0315
Протяженность (уклон) выработки (С4.3)	0.0279	0.0263	0.0297
Продолжительность формирования системы вскрытия (С5.1)	0.0321	0.0385	0.0357
Продолжительность этапа разработки (С5.2)	0.0254	0.0487	0.0359
Число этапов разработки (С5.3)	0.0137	0.0435	0.0277
Капитальные затраты (С6.1)	0.0455	0.0124	0.0335
Эксплуатационные затраты (С6.2)	0.0350	0.0344	0.0374
Ожидаемый совокупный доход (С6.3)	0.1676	0.2019	0.1958
Рост производительности труда (С7.1)	0.0542	0.0015	0.0247
Условия работы персонала (С7.2)	0.0761	0.0019	0.0346
Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования (С7.3)	0.0223	0.0012	0.0145
Объемы выбросов загрязняющих веществ (С8.1)	0.0779	0.0008	0.0338
Объем образующихся отходов (С8.2)	0.0373	0.0005	0.0189

Разработанная многокритериальная модель выбора стратегии устойчивого развития ГТС карьера М. Куйбас состоит из 23 критериев (С1.1-С8.2) и четырех альтернатив (А1-А4). Первоначально формируется расширенная исходная матрица принятия решений (табл. 6.10).

Следующим этапом выполняется нормализация исходной расширенной матрицы. Результаты представлены в табл. 6.11.

Таблица 6.10 - Исходная матрица принятия решений

Параметры	AAI	A1	A2	A3	A4	AI
C ₁₁	1	1	2	1	4	4
C ₁₂	1	4	5	5	1	5
C ₂₁	55	47	55	5	2	2
C ₂₂	0.32	0.48	0.53	0.32	0.7	0.7
C ₂₃	4	2	3	4	1	1
C ₂₄	1	3	4	5	1	5
C ₃₁	7.3	4.1	7.3	1.5	2	1.5
C ₃₂	550	470	550	290	470	290
C ₃₃	0.5	22	24	2.7	0.5	24
C ₄₁	210	210	180	100	0.1	0.1
C ₄₂	29	27	29	21	19	19
C ₄₃	500	3400	2925	1625	500	3400
C ₅₁	15	10	15	6	1	1
C ₅₂	10	10	15	25	30	30
C ₅₃	1	1	2	1	1	2
C ₆₁	10572	265.58	1623.9	10572	37	37
C ₆₂	722.92	217.3	312.4	722.92	52	52
C ₆₃	103	103	918.69	1110.92	130.5	1110.92
C ₇₁	5.12	19.23	19.1	5.12	5.8	19.23
C ₇₂	2	4	3	2	5	5
C ₇₃	1	4	3	3	1	4
C ₈₁	4	3	4	2	1	1
C ₈₂	4	3	4	2	1	1

Нормализованная матрица получается путем произведения всех значений нормализованной матрицы на весовые значения критериев, рассчитанных с использованием метода fuzzy AHP (см. табл. 6.9). В таблице 6.12 представлена взвешенная нормализованная матрица по результатам усреднённой оценки экспертов.

Окончательные результаты использования метода MARCOS по трем вариантам (академические эксперты, эксперты ГДП и усреднённый вес) показаны в табл. 6.13.

Наилучшей альтернативой по выбору стратегии устойчивого развития ГТС карьера Малый Куйбас является переход на открыто-подземный способ разработки (A3). Для выбранной альтернативы была рассчитана величина совокупного дисконтированного дохода, которая составила 1,11 млрд. руб. Реализация стратегии имеет существенную социальную эффективность, т.к. позволит создать на длительную перспективу более 500 рабочих мест в городе Магнитогорске.

Таблица 6.11 - Нормализация исходной расширенной матрицы

Пара- метры	AAI	A1	A2	A3	A4	AI
C ₁₁	0.25	0.25	0.5	0.25	1	1
C ₁₂	0.2	0.8	1	1	0.2	1
C ₂₁	0.036364	0.042553	0.036364	0.4	1	1
C ₂₂	0.457143	0.685714	0.757143	0.457143	1	1
C ₂₃	0.25	0.5	0.333333	0.25	1	1
C ₂₄	0.2	0.6	0.8	1	0.2	1
C ₃₁	0.205479	0.365854	0.205479	1	0.75	1
C ₃₂	0.527273	0.617021	0.527273	1	0.617021	1
C ₃₃	0.020833	0.916667	1	0.1125	0.020833	1
C ₄₁	0.000476	0.000476	0.000556	0.001	1	1
C ₄₂	0.655172	0.703704	0.655172	0.904762	1	1
C ₄₃	0.147059	1	0.860294	0.477941	0.147059	1
C ₅₁	0.066667	0.1	0.066667	0.166667	1	1
C ₅₂	0.333333	0.333333	0.5	0.833333	1	1
C ₅₃	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1
C ₆₁	0.0035	0.139318	0.022785	0.0035	1	1
C ₆₂	0.071931	0.239301	0.166453	0.071931	1	1
C ₆₃	0.092716	0.092716	0.826963	1	0.11747	1
C ₇₁	0.266251	1	0.99324	0.266251	0.301612	1
C ₇₂	0.4	0.8	0.6	0.4	1	1
C ₇₃	0.25	1	0.75	0.75	0.25	1
C ₈₁	0.25	0.333333	0.25	0.5	1	1
C ₈₂	0.25	0.333333	0.25	0.5	1	1

Таблица 6.12 - Усредненный вес критериев

Пара- метры	AAI	A1	A2	A3	A4	AI
C ₁₁	0.002136	0.002136	0.004272	0.002136	0.008545	0.008545
C ₁₂	0.01659	0.066359	0.082948	0.082948	0.01659	0.082948
C ₂₁	0.000922	0.001079	0.000922	0.010147	0.025367	0.025367
C ₂₂	0.032391	0.048587	0.053648	0.032391	0.070856	0.070856
C ₂₃	0.006495	0.012989	0.00866	0.006495	0.025979	0.025979
C ₂₄	0.009751	0.029254	0.039005	0.048756	0.009751	0.048756
C ₃₁	0.007536	0.013418	0.007536	0.036676	0.027507	0.036676
C ₃₂	0.020274	0.023724	0.020274	0.03845	0.023724	0.03845
C ₃₃	0.000972	0.042747	0.046633	0.005246	0.000972	0.046633
C ₄₁	0.000003	0.000003	0.000003	0.000006	0.062003	0.062003
C ₄₂	0.020664	0.022194	0.020664	0.028536	0.03154	0.03154
C ₄₃	0.00437	0.029715	0.025563	0.014202	0.00437	0.029715
C ₅₁	0.002381	0.003571	0.002381	0.005952	0.035712	0.035712
C ₅₂	0.011979	0.011979	0.017968	0.029947	0.035936	0.035936
C ₅₃	0.013829	0.013829	0.027659	0.013829	0.013829	0.027659
C ₆₁	0.000117	0.00467	0.000764	0.000117	0.033518	0.033518

Пара- метры	AAI	A1	A2	A3	A4	AI
C ₆₂	0.002693	0.008958	0.006231	0.002693	0.037435	0.037435
C ₆₃	0.018156	0.018156	0.16194	0.195824	0.023004	0.195824
C ₇₁	0.006575	0.024696	0.024529	0.006575	0.007449	0.024696
C ₇₂	0.013834	0.027668	0.020751	0.013834	0.034585	0.034585
C ₇₃	0.003624	0.014495	0.010871	0.010871	0.003624	0.014495
C ₈₁	0.008444	0.011259	0.008444	0.016889	0.033777	0.033777
C ₈₂	0.004724	0.006299	0.004724	0.009448	0.018896	0.018896

Таблица 6.13 – Результаты расчетов методом MARCOS

	SAAI	KI-	KI+	f(K-)	f(K+)	f(K)	Ранг
Академические эксперты							
AAI	0.2138	1					
A1	0.4589	2.1461	0.4589	0.1762	0.8238	0.4422	4
A2	0.5584	2.6116	0.5584	0.1762	0.8238	0.5382	3
A3	0.5667	2.6503	0.5667	0.1762	0.8238	0.5461	2
A4	0.6333	2.9618	0.6333	0.1762	0.8238	0.6103	1
AI	1.0000	4.6768	1				
Эксперты ГДП							
AAI	0.2192	1					
A1	0.4336	1.9777	0.4336	0.1798	0.8202	0.4171	4
A2	0.6390	2.9150	0.6390	0.1798	0.8202	0.6148	2
A3	0.6706	3.0589	0.6706	0.1798	0.8202	0.6452	1
A4	0.5521	2.5183	0.5521	0.1798	0.8202	0.5312	3
AI	1.0000	4.5615	1				
Усредненная							
AAI	0.2085	1					
A1	0.4378	2.1000	0.4378	0.1725	0.8275	0.4226	4
A2	0.5964	2.8607	0.5964	0.1725	0.8275	0.5757	2
A3	0.6120	2.9356	0.6120	0.1725	0.8275	0.5908	1
A4	0.5850	2.8058	0.5850	0.1725	0.8275	0.5647	3
AI	1.0000	4.7965	1				

В работе было проведена проверка полученных результатов с использованием принятого метода. Для проверки полученных результатов мы сравнили результаты, полученные методом MARCOS, с результатами других методов MCDM. Поэтому был произведен анализ чувствительности результатов, полученных с помощью метода MARCOS.

Для сравнения были выбраны 9 наиболее распространенных MCDM методов: SAW (Simple Additive Weighting) [280], TOPSIS (Technique for the Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) [304], COPRAS (COmplex Proportional Assessment) [362], MOORA (Multi-Objective Optimization On The Basis of Ratio Analysis) [275], ARAS (Additive Ratio Assessment) [363], WASPAS (Weighted Aggregated Sum

Product Assessment) [364], MAIRCA (MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis) [327], EDAS (The Evaluation based on Distance from Average Solution) [309], MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) [328]. На рис. 6.28 показаны результаты анализа сравниваемых методов.

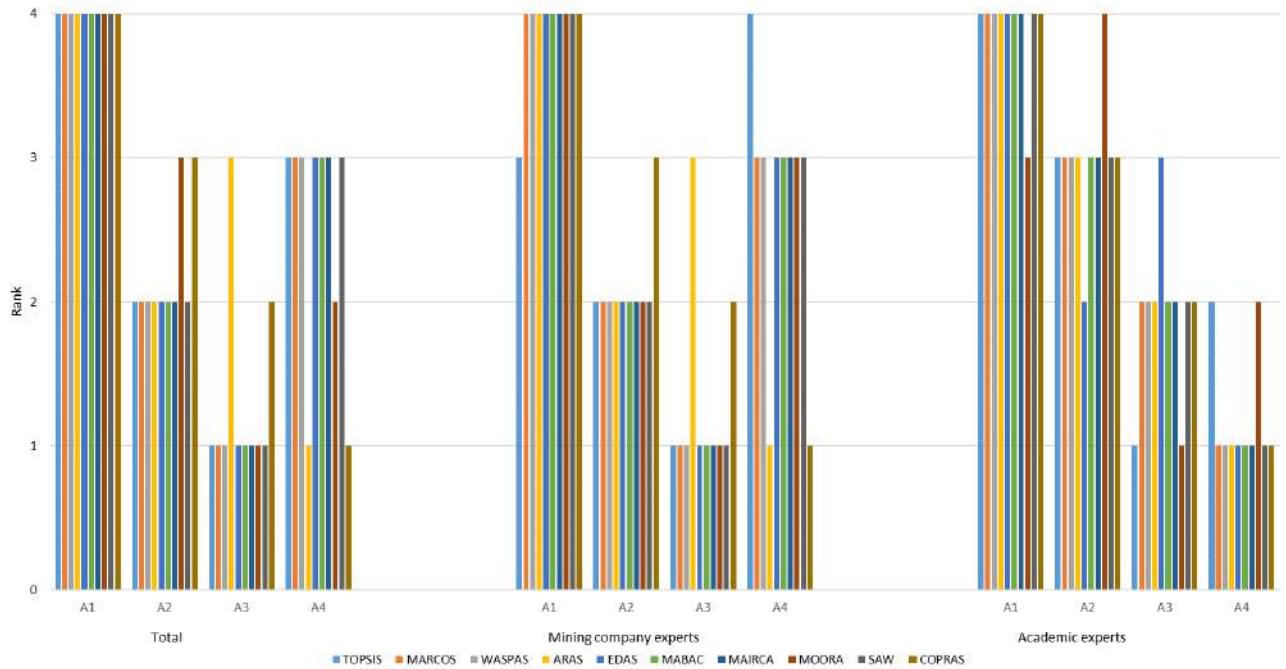


Рисунок 6.28 - Сравнение метода MARCOS с другими методами

Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена (Spearman rank correlation coefficient (SCC)) показал высокую корреляцию между результатами ранжирования различными MCDM методами. В табл. 6.14 показаны результаты расчета SCC при использовании усредненных значение весовых коэффициентов. Средний коэффициент корреляции составил: при усредненных весовых коэффициентах – 0.991, при использовании весовых коэффициентов академических экспертов – 0.995, использовании весовых коэффициентов экспертов с ГДП – 0.990.

Таблица 6.14 - Статистическая корреляция рангов, рассчитанных с помощью SCC (Усредненный вес)

	SAW	TOPSIS	COPRAS	MOORA	ARAS	WASPAS	MAIRCA	EDAS	MABAC	MARCOS	AV
SAW	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
TOPSIS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
COPRAS	0.98	0.98	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.983
MOORA	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.992
ARAS	0.97	0.97	0.99	0.98	1.00	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.977
WASPAS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MAIRCA	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
EDAS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MABAC	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
MARCOS	1.00	1.00	0.98	0.99	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.994
Total average											0.991

На следующем этапе проверки было проанализировано влияние изменения критериев на результаты ранжирования. Были выбраны следующие сценарии:

- исключение показателя с наименьшим весом и изменение веса оставшихся критериев пропорционально значению данного критерия. Для группы «Общий вес» усредненные весовые коэффициенты был исключен $C_{11}=0.00085$ (сценарий S2), для группы «Эксперты ГДП» был исключен $C_{23}=0.00038$ (сценарий S4), для группы «Академические эксперты» был исключен $C_{11}=0.00475$ (сценарий S6).

- исключение показателя с наибольшим весом и изменение веса оставшихся критериев пропорционально значению данного критерия. Для всех групп был исключен показатель C_{63} и получены три сценария «Общий вес» (сценарий S3), «Эксперты ГДП» (сценарий S5) и «Академические эксперты» (сценарий S7). Результаты анализа представлены на рис. 6.29.

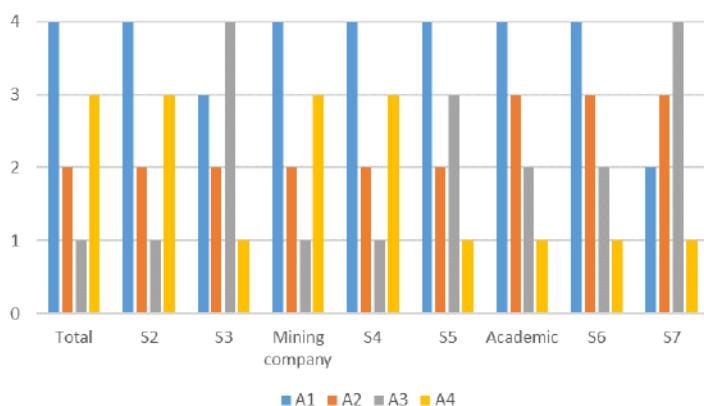


Рисунок 6.29 - Результаты ранжирования методом MARCOS с учетом изменения веса критериев

Результаты анализа показывают, что альтернатива A1 наиболее устойчива из всех альтернатив. Во всех сценариях ее ранг равен 4 (за исключением сценариев S3 и S7). Альтернатива A2 устойчива в группах «Общие» и «Эксперты ГДП» и имеет ранг 2. Однако в группе «Академические эксперты» её ранг составил в обоих сценариях (S6 и S7). Ранги альтернатив A3 и A4 наименее стабильны.

Ещё одним способом проверки достоверности полученных результатов было построение динамических матриц и проверка устойчивости модели к проблеме изменения ранга. Для каждого сценария было изменено количество альтернатив, что исключило наихудшую альтернативу из дальнейшего рассмотрения. После

определения нового набора альтернатив ранжирование альтернативных вариантов выполняется во вновь сформированных условиях с использованием предложенной модели.

Начальное решение (Scenario 1) сформировано как $A_3 > A_2 > A_4 > A_1$. Альтернатива A_1 определяется как наихудшая, поэтому в сценарии 2 альтернатива A_3 исключается из набора. Таким образом, получается новая матрица принятия решений с тремя альтернативами. Сгенерировано новое решение и получены следующие предпочтения: $A_3 > A_2 > A_4$. Ранг альтернативы A_3 не изменился – она первая, а A_4 – становится худшей альтернативой. Результаты остальных сценариев представлены на рис. 6.30.

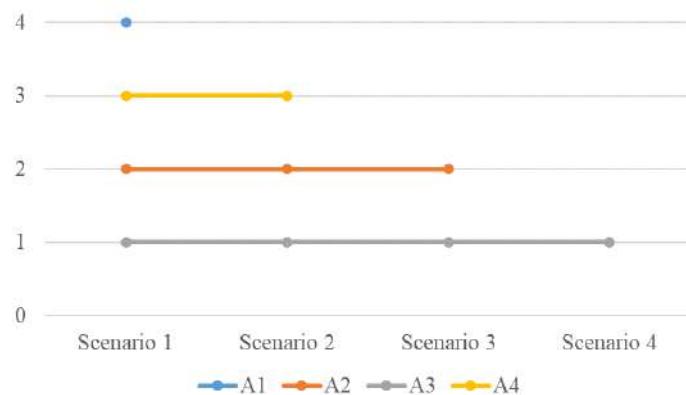


Рисунок 6.30 - Эффекты динамических матриц решений в методе MARCOS

Из рис. 6.30 видно, что исключение альтернатив с наихудшем рангом не влияет на ранг наилучших альтернатив в каждой переупорядоченной матрице. На основании этого можно сделать вывод, что модель fuzzy AHP-MARCOS не приводит к изменению ранга среди альтернатив. Альтернатива A_4 осталась лучшей по всем сценариям. Это подтверждает надежность и точность ранжирования альтернатив в динамической среде.

Выполненные для карьера Малый Куйбас решения по выбору стратегий в течение периода с 2012 по 2021 гг., позволили установить, что без принятия решений по реализации стратегий и продолжении реализации текущего варианта развития горных работ со временем применение предлагаемых технологических решений становится невозможным. На рис. 6.27 показано положение карьера на момент окончания открытых горных работ по существующему проекту. Видно, что к

моменту окончания открытых горных работ ряд рассматриваемых вариантов создания системы вскрытия при переходе на подземный способ разработки становятся невозможными. Это вызвано тем, что на площадках карьера, на которых предлагалось размещение вскрывающих выработок для подземного рудника, формируются внутренние отвалы и исключается транспортный доступ. Вследствие этого из рассмотрения исключаются варианты создания системы вскрытия с использованием карьерного пространства, для которых характерны минимальные продолжительности переходного периода и наименьшие капитальные затраты на строительство карьера. Варианты с длительными сроками переходного периода не обеспечивают сохранение проектной производительности по руде открытого и подземного рудников без разрывов в добыче. Увеличение сроков строительства подземного рудника приведет к остановке поставок руды на обогатительную фабрику и, как следствие, ее остановке.

Безразрывность процесса добычи руды на месторождении также могла быть обеспечена своевременным принятием решения о переходном периоде на новый этап открытой разработки месторождения. Особенности изменения системы вскрытия при таком варианте более подробно рассмотрены выше. В результате реализации данного варианта совмещенный план карьера на конец отработки с нанесенными вскрывающими выработками подземного рудника представлен на рис.6.31.

При таком варианте размещение вскрывающих выработок в карьерном пространстве становится невозможным и вскрытие запасов руды за проектными контурами карьера может производиться только стволами, расположенными за пределами отвалов вскрышных пород. Данный вариант является самым затратным по капитальным затратам, а также характеризуется большой продолжительностью переходного периода.

Завершенные в 2021 году исследования по выбору варианта перехода на стратегию открыто-подземной разработки месторождения Малый Куйбас [214] показали, что рассматриваемые ранее стратегии по изменению текущего этапа разработки, переходу на новый этап ОГР, использованию карьерного пространства

для формирования системы вскрытия подземного рудника не могут быть реализованы. Это вызвано тем, что в результате развития горных работ пройдены условные временные периоды, когда должны были начаться переходные периоды реализации данных стратегий. В дальнейшем была отработана южная часть карьера и начато формирование внутреннего отвала, что не позволяет реализовать стратегию перехода на новый этап ОГР, сработаны и засыпаны в северной части площадки и транспортный доступ к местам возможного размещения вскрывающих выработок. Даже для реализации наиболее затратного варианта вскрытия стволами с поверхности необходимо переносить места их расположения от карьера на 700 м, т.к. был расширен отвал вскрышных пород на участки возможного размещения стволов. Перенос стволов увеличивает длину квершлагов (капитальные затраты) и расстояние транспортирования рудной массы по ним (эксплуатационные затраты).

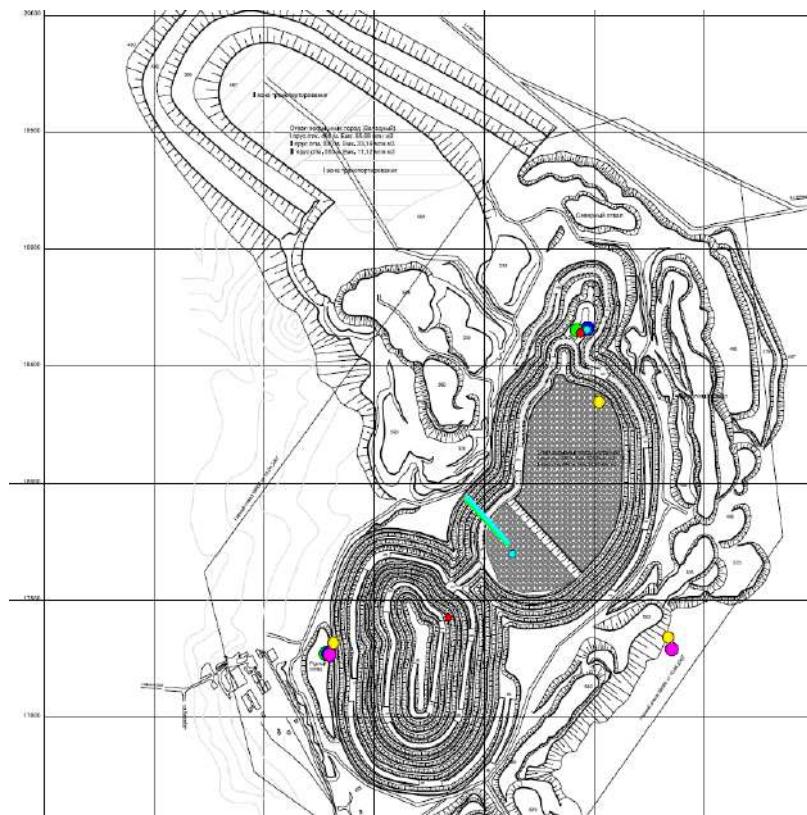


Рисунок 6.31 - Размещение вскрывающих выработок для различных вариантов перехода на подземный способ доработки месторождения «Малый Куйбас» при реконструкции карьера и увеличении глубины открытых горных работ

Таким образом, результаты исследований показали, что эффективность переходных периодов и последующих этапов разработки во многом зависят от

времени начала переходного периода по отношению к сроку окончания очередного этапа освоения. Чем меньше разница в данных сроках, тем более ограниченное число возможных к применению схем, больше капитальные и эксплуатационные затраты на их реализацию. При разработке крутопадающих месторождений целесообразны схемы вскрытия с использованием карьерных подъемников, эксплуатация которых осуществляется как на этапе открытой разработки, так и для последующей подземной разработки месторождения.

Результаты расчета рентабельности производства по рассматриваемым вариантам выбора стратегии перехода на открыто-подземный способ разработки месторождения на месторождении Малый Куйбас представлен на рис. 6.32.

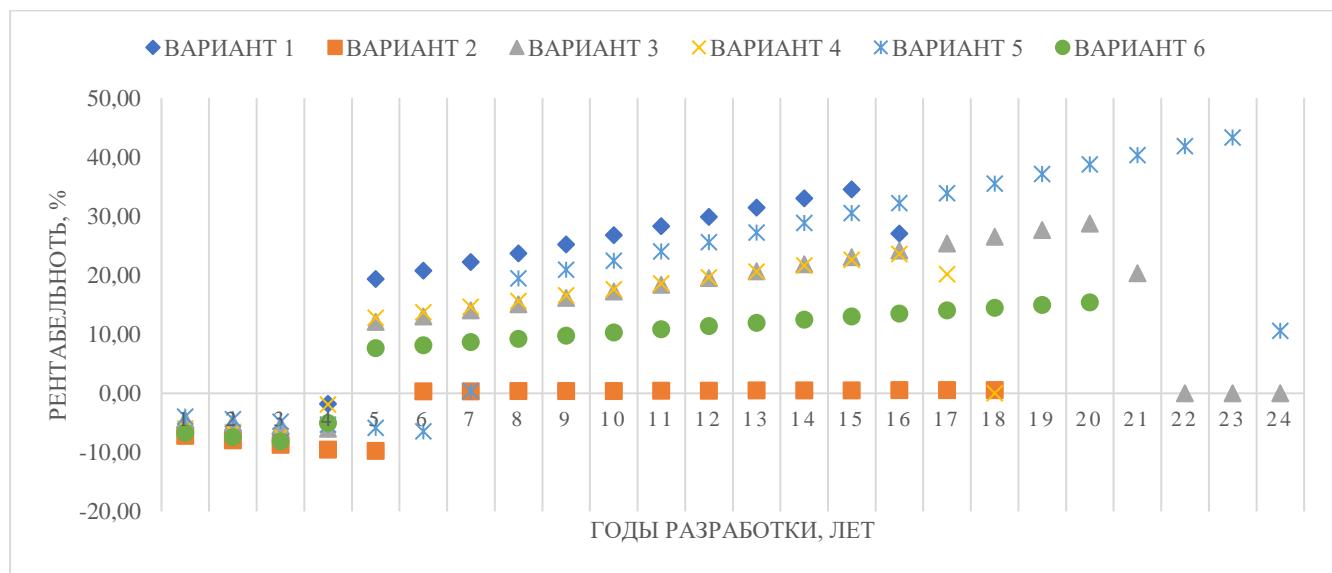


Рисунок 6.32 – Значения рентабельности производства по годам эксплуатации для рассматриваемых вариантов

Результаты вышеприведенных исследований, полученные зависимости изменения показателей грузооборота и объемов вскрышных пород при формировании схем вскрытия, подтверждают выдвинутую в работе гипотезу закономерности, сформулированную в главе 3: чем дальше срок начала переходного периода от момента окончания проектного этапа разработки, тем большее количество вариантов системы вскрытия может быть реализовано и тем выше величина совокупного дохода, получаемого в переходный период и последующий этап разработки месторождения. При приближении к границам текущего этапа отрабатываются площадки, на которых могут размещаться вскрывающие выработки, либо данные площадки засыпаются внутренними отвалами, система

съездов направляется только на нижние горизонты и создание доступа на промежуточные площадки становится проблематичным, для создания новой системы вскрытия объем разноса бортов возрастает пропорционально росту глубины карьера, что приводит к тому что изначально наиболее эффективные варианты формирования системы вскрытия становится либо очень затратным, либо не возможными к реализации по сложившимся горнотехническим условиям.

В подтверждение данной закономерности также можно привести примеры по сложившейся ситуации на трубке Нюрбинская, в которой приостанавливаются добывающие работы на два года для разноса бортов карьера и перехода на новый этап разработки, что говорит о несвоевременно принятом решении о начале переходного периода. Похожая ситуация наблюдается на трубке им. В.Гриба, в которой открытые горные работы по предельному контуру карьера приближаются к этапу доработки, при этом возможность вовлечения в отработку законтурных запасов открытым способом без разрыва в добывче руды практически невозможна.

Выводы

- реализация разработанных в работе геотехнологических решений позволила повысить эффективность и устойчивость горнодобывающих предприятий уральского региона при внедрении различных стратегий развития;

- для условий Аккермановского рудника предложено изменение вида транспорта и конструкций вскрывающих выработок, а также сокращение приведенного расстояния транспортирования вскрышных пород, путем формирования внутренних отвалов в отработанных участках вскрывающих выработок. Совокупный доход от реализации данных решений составит 234,2 млн. руб. в течение этапа разработки;

- определен рациональный вариант системы вскрытия для условий разработки перспективного Копансского месторождения титано-магнетитовых руд. Для отработки данного месторождения рассматривался автомобильный транспорт. Произведено сравнение 8 альтернативных моделей автосамосвалов, с соответствующим обоснованием параметров вскрытия. В результате выполненных расчетов к реализации предложен вариант системы вскрытия, при реализации предлагаемой стратегии экономический эффект составит 7,23 млрд. руб;

- определены параметры этапа вскрытия вскрытия карьера для условий реализации стратегии перехода с открытого на подземный способ разработки месторождения Юбилейный ООО «Башкирская медь». Экономический эффект от реализации варианта составит 338,78 млн.руб. за счет изменения параметров системы вскрытия и исключения разноса борта карьера;

- рассмотрены вероятные стратегии устойчивого функционирования и развития предприятия для условий месторождения Малый Куйбас. Были рассмотрены варианты изменения параметров текущего этапа, путем строительства круто-наклонного конвейера; перехода на новый этап открытых горных работ, путем углубления карьера ниже проектных контуров на 60-80 м; рассмотрен вариант перехода на открыто-подземный и подземный способ разработки. определена величина экономического эффекта, который может быть получен при реализации предлагаемых в диссертационном исследовании геотехнологических решений для ряда горнодобывающих предприятий уральского региона. С учетом предлагаемого в работе подхода определены значения параметров системы разработки, выполнен расчет по выбору рационального варианта системы вскрытия и наилучшей стратегии. Наиболее высокий ранг был определен для стратегии перехода на открыто-подземный способ разработки. Совокупный доход при реализации данного решения составит более 1,7 млрд.руб.

- подтверждена выдвинутая в работе гипотеза закономерности: чем дальше срок начала переходного периода на новый этап вскрытия от момента окончания проектного этапа разработки, тем большее количество вариантов системы вскрытия может быть реализовано и тем выше экономический эффект, получаемый в переходный период и последующий этап разработки месторождения. При приближении к границам текущего этапа отрабатываются площадки, на которых могут размещаться вскрывающие выработки, либо данные площадки засыпаются внутренними отвалами, система съездов направляется только на нижние горизонты и создание доступа на промежуточные площадки становится проблематичным, для создания новой системы вскрытия объем разноса бортов возрастает пропорционально росту глубины карьера, что приводит к тому что изначально наиболее эффективные варианты формирования системы вскрытия становится либо очень затратным, либо не возможными к реализации по сложившимся горнотехническим условиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, предложены новые научно обоснованные геотехнологические решения по сохранению устойчивости функционирования горнорудных предприятий за счет поэтапного вскрытия запасов глубоких горизонтов при открытой и комбинированной отработке крутопадающих месторождений, имеющие важное народнохозяйственное значение для развития горнодобывающей промышленности России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Определено, что за последние десятилетия проектные глубины карьеров возросли более чем в 1,5 раза, а вместимость ковшей экскаваторов и грузоподъемность автосамосвалов, применяемых в карьерах, более чем в 4 раза. При этом для принятой модели экскаватора вариативность формирования системы вскрытия различается в широком диапазоне: до 60 конкурентных моделей самосвалов, 2-4 вида транспорта, 5-6 вариантов сочетаний видов транспорта и до 1,5-1,7 раза различающиеся параметры однотипных вскрывающих выработок. Такая вариативность требует многокритериального подхода к обоснованию параметров системы вскрытия.

2. Установлено, что от параметров системы вскрытия, объединяющей вскрывающие выработки, транспортные средства и устройства, внутрикарьерные пункты перегрузки горной массы, при производстве горных работ на глубоких горизонтах карьеров, зависит около 50% капитальных затрат и до 70-80% эксплуатационных расходов при добыче полезных ископаемых, значительная часть выбросов вредных веществ и образования отходов производства. Поэтому система вскрытия, являясь подсистемой горнотехнической системы (ГТС), во многом определяет выбор эффективной стратегии ее развития.

3. Установлено, что для эффективного ведения горных работ в диапазоне глубин 200-700 м целесообразно использовать геотехнологические решения, реализуемые в

предложенных стратегиях развития ГТС: изменение параметров системы вскрытия в течение проектного периода эксплуатации карьера, переход на новый этап развития открытых горных работ или на открыто-подземный способ разработки, на использование сформированных техногенных георесурсов, не связанное с добывчей руды.

4. Обосновано, что оценку системы вскрытия необходимо осуществлять на основе предлагаемого комплексного критерия эффективности, представленного ранговым коэффициентом, учитывающим: вид карьерного транспорта, глубину ведения горных работ, продолжительность этапа вскрытия, объемы вскрывающих выработок, затраты на формирование и эксплуатацию системы вскрытия, социальную и экологическую эффективность рассматриваемых вариантов, а также вес и целевые функции каждого учитываемого параметра. Использование предлагаемого критерия позволяет при близких экономических значениях параметров сравниваемых вариантов учитывать дополнительные факторы, которые могут оказывать определяющее влияние на проектное решение для данного этапа.

5. Определено, что наилучшие значения по технологическим, экономическим, экологическим и социальным параметрам системы вскрытия, при производстве горных работ на глубоких горизонтах рудных месторождений, могут быть достигнуты при расширении области использования системы вскрытия с карьерными подъемниками путем эффективной реализации циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования горных пород не только на текущем, но и на последующем этапе разработки.

6. Разработаны технологические решения по увеличению интенсивности производства горных работ на отдельных участках карьера изменением конструкции рабочей зоны путем перехода на высокие уступы, позволяющие развивать ЦПТ транспортирования горной массы не только на текущем, но и на последующем этапах отработки. Предложенные решения позволяют сократить срок начала функционирования новых перегрузочных пунктов на 5-7 лет и, соответственно, в 1,5-1,8 раза ускорить запуск новых конвейерных линий по сравнению с вариантом равномерного развития рабочей зоны в карьере.

7. Установлены зависимости эксплуатационных затрат от параметров системы вскрытия с применением карьерных подъемников, формируемых до дна карьера, при переходе к открыто-подземному способу разработки месторождения, которые позволяют расширить область применения системы вскрытия с ЦПТ транспортирования руды через карьерное пространство удаленных от контуров карьера запасов: расположенных в борту карьера - с 2 до 3,5 км; расположенных ниже уровня дна карьера – с 600 до 750 м, по сравнению с цикличной технологией транспортирования.

8. Предложены конструкции карьерных подъемников, объединяющих функции подъема горной массы и обслуживания перегрузочного пункта. Схемы вскрытия с использованием данных подъемников позволяют повысить эффективность переходного периода от открытого способа разработки к открыто-подземному за счет отработки части съездов выше перегрузочного пункта и увеличения глубины карьера до 30% в период перехода на открыто-подземный способ разработки, что позволит осуществлять добычу руды в период строительства подземного рудника. Применение разработанных конструкций подъемников также позволит в 2-3 раза сократить площадь сохраняемого в целиках пространства карьеров при использовании систем подземной разработки с обрушением вмещающих пород.

9. Разработана методика определения параметров этапов вскрытия глубоких горизонтов рудных месторождений при комбинированной геотехнологии, отличающаяся использованием многокритериальных методов при оценке эффективности системы вскрытия и позволяющая реализовывать технико-технологические решения по развитию циклично-поточной технологии транспортирования горной массы, для вскрытия запасов за проектным контуром карьера, при открыто-подземном способе разработки и решения по комплексному использованию георесурсов неосновного производственного назначения. Методика предполагает необходимость периодического ранжирования возможных стратегий развития ГТС по мере развития горных работ на месторождении.

10. Установлено закономерное снижение количества вариантов стратегий развития ГТС и их эффективности при завершении очередного этапа вскрытия.

Несвоевременное принятие стратегии развития ГТС может сопровождаться разрывом в добыче руды и снижением экономических показателей при разработке рудных месторождений.

11. Достигнут экономический эффект от реализации геотехнологических решений по изменению системы вскрытия для предприятий уральского региона (Аккермановское, Круторожинское, Юбилейное месторождения) в размере 897,1 млн.руб. Для условий разработки железорудного месторождения Малый Куйбас произведено ранжирование возможных стратегий развития ГТС и определены рациональные параметры системы вскрытия для варианта перехода на открыто-подземный способ разработки, имеющего наиболее высокий ранг. При этом экономическая эффективность от реализации данного решения составит более 1,7 млрд.руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов, Р.И. Обоснование параметров логистических схем за-кладки на подземном руднике с передвижными закладочными комплексами: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22, 25.00.21 / Р.И. Абдрахманов; МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2017. – 164 с.
2. Агошков, М.И. Разработка рудных и нерудных месторождений: Учебник для горн. техникумов / М.И. Агошков, С.С. Борисов, В.А. Боярский. – 3-е изд., перераб., доп. – М.: Недра, 1983. – 424 с.
3. Агошков, М.И. Подземная разработка рудных месторождений: Учебник для горных специальностей вузов / М.И. Агошков, Г.М. Малахов. – М.: Недра, 1966. –663 с.
4. Акишев, А. Н. Оптимизация параметров схем вскрытия горизонтов ким-берлитовых карьеров / А. Н. Акишев, С. Л. Бабаскин, И. В. Зырянов // Горный жур-нал. – 2010. – № 5. – С. 85-87.
5. Акишев А.Н., Бабаскин С.Л., Зырянов И.В., Кожемякин А.А., Федеряев О.В. Анализ результатов опытно-промышленных испытаний схем вскрытия круто-наклонными съездами и эксплуатации горно-транспортного оборудования с систе-мами дистанционного управления (на примере карьера "Удачный") // Горный ин-формационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S45-1. С. 357-370.
6. Акишев А. Н. Моделирование параметров и направления развития рабо-чей зоны карьера «Ботуобинский» / А. Н. Акишев, А.В. Нехаев, Б.Н. Заровняев, И.Н. Гоголев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №10. – С. 369-375.
7. Алтушкин, И.А. Практическая реализация механизма устойчивого разви-тия в создании и становлении горно-металлургического холдинга медной отрасли России / И.А. Алтушкин, А.Е. Череповицын, Ю.А. Король. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2016. – 232 с.
8. Андросов, А.Д. Технологические схемы комбинированной разработки кимберлитовых трубок / А.Д. Андросов, А.А. Андросов – Екатеринбург: ИГД УрО

РАН., 2001. – С. 56-66.

9. Анистратов, Ю.И. Выбор схемы вскрытия карьерного поля на основе куммулятивного критерия / Ю.И. Анистратов, Ф.А. Горюнов // Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 70-71.

10. Анистратов, К. Ю. Исследование показателей работы карьерных самосвалов для обоснования структуры парка и норм выработки автотранспорта / К.Ю. Анистратов, Л.В. Борщ-Компониец // Горная промышленность. – 2011. – №4. – С. 38-49.

11. Анистратов, Ю.И. Систематизация вскрывающих выработок и выбор критериев, определяющих способ вскрытия карьерных полей / Ю.И. Анистратов, Ф. А. Горюнов // Горная промышленность. – 2012. – №6. – С. 54-58.

12. Анистратов, К.Ю. Разработка метода формирования структуры комплексной механизации горных работ на карьерах: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22 / К.Ю. Анистратов; Горный ин-т Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 2013. – 375 с.

13. Антонов, А.В. Системный анализ: Учебник для вузов / А.В. Антонов. – М.: Высш. шк., 2004. – 454 с.

14. Андросов, А.Д. Развитие технологии реконструкции глубоких карьеров Якутии: Монография / А.Д. Андросов – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. – 103 с.

15. Арефьев, С.А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / С.А. Арефьев; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург, 2015. – 179 с.

16. Арсентьев, А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей / А.И. Арсентьев. – М.: Недра, 1981. – 278с.

17. Астафьев, Ю.П. Комбинированная разработка нагорных месторождений / Астафьев Ю.П. // Горный журнал. – 1992. – №10. – С.17-21.

18. Бабенко, И.В. Внедрение конвейерного транспорта на глубоких карьерах

России и Казахстана / И.В. Бабенко, И.П. Веретельник, И.Н. Тимофеев // Горный журнал. – 2011. – № 4. – С. 55-58.

19. Бабаянц, Г.М. Совершенствование комбинированного открыто-подземного способа разработки мощных залежей / Г. М. Бабаянц // Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 72-74.

20. Бахтавар, Е. Оптимизация перехода от открытой разработки полезных ископаемых к подземному способу горных работ / Е. Бахтавар, К. Ораи, К. Шахриар // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – №5. – С.86-94.

21. Бахтурин Ю.А., Кармаев Г.Д., Берсенев В.А. Вопросы применения циклично-поточной технологии на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. N3. С. 62–71.

22. Баженов М.В. Основные положения технологии открытой разработки крутопадающих месторождений этапами / М.В. Баженов, В.П. Линев, Г.А. Холодняков, С.И. Фомин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – №6. – С. 41-45.

23. Бессонов, В.А. О динамике совокупной факторной производительности в российской переходной экономике / В.А. Бессонов // Экономический журнал ВШЭ. – 2004. – № 4. – С. 542-587.

24. Боголюбов, А.А. Опыт применения комбинированной системы разработки и показатели работы крупнейших подземных рудников за рубежом / А.А. Боголюбов, Л.А. Ермолаева. – М.: ЦНИИЧерметинформация, 1991. – 64 с.

25. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. - Москва: Советская энциклопедия ; Санкт-Петербург : Фонд "Ленингр. галерея", 2002. - 1628 с.

26. Большая советская энциклопедия. Том 16. 3-е изд. / Глав. ред. А. М. Прохоров. — М.: Сов. энциклопедия, 1969-78 гг.

27. Боярко, Г.Ю. Оценка дисконтированной стоимости минерального сырья в недрах России / Г.Ю. Боярко // Известия Томского политехнического ун-та. – 2001. – вып.1. – С. 337-343.

28. Боярко, Г.Ю. Экономика минерального сырья: Учебное пособие. / Г.Ю. Боярко. – Томск: Изд-во Аудит-Информ, 2000. – 365 с.
29. Буткевич, Г.Р. Проблемы карьерного транспорта / Г.Р. Буткевич // Горная промышленность. – 1995. – №3. – С. 2-3.
30. Бурмистров К.В., Осинцев Н.А. Принципы устойчивого развития горнотехнических систем в переходные периоды // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2020. Т. 331. N4. С. 179–195.
31. Бурмистров, К.В. Выбор комплексов оборудования для производства выемочно-погрузочных работ в стесненных условиях нижних горизонтов карьеров / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, К.Р. Аргимбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – №1. – С. 22-25.
32. Бурмистров К.В. Обоснование параметров карьерных транспортных коммуникаций на различных этапах разработки месторождения / К.В. Бурмистров, И.С. Бурмистрова, А.Д. Кольга [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №3 (специальный выпуск 15). – С. 140-146.
33. Бурмистров К.В. Оценка эффективности применения крутонаклонных подъемников для транспортирования горной массы при комбинированном способе разработки месторождений / К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, Н.Г. Томилина, А.В. Генкель // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71 межрегиональной НТК. / под ред. В.М. Колокольцева – Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. – Т.1. – С. 71-75.
34. Бурмистров К.В. Особенности проектирования MES и ERP-систем на горнодобывающих предприятиях / К.В. Бурмистров, И.С. Бурмистрова, Л.С. Цуприк, В.А. Ошурков // Сборник научных трудов SWorld. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2014. – Т. 4. – № 9. – С. 94-99.
35. Бурмистров, К.В. Методология проектирования системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождений / К.В. Бурмистров //

Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность: труды Международной научно-технической конференции. / под ред. В.Н. Калмыкова, М.В. Рыльниковой. – Магнитогорск: МГТУ, 2017. – С. 57-58.

36. Бурмистров К.В., Михайлова Г.В., Даутбаев З.Р. Оценка целесообразности реконструкции карьера «Малый Куйбас» с вовлечением в отработку законтурных запасов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 74-й международной научно-технической конференции / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016.- Т.1. - С. 34-37.

37. Бурмистров К.В. Исследование возможности применения конвейерного транспорта в сложных горно-геологических условиях глубоких высокопроизводительных карьеров / К.В. Бурмистров, С.И. Головей, А.В. Крутикова, З.Р. Даутбаев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – №2. – С. 32-38.

38. Бурмистров К.В. Обоснование системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – Том 1. – № 12(2). – С. 84–94.

39. Бурмистров, К.В. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений / К.В. Бурмистров, М.П. Овсянников // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2018. – №6. – С. 20-28.

40. Бурмистров К.В., Гавришев С. Е., Калмыков В.Н. Применение автоматизированных систем транспортирования горной массы при переходе на от-крыто-подземный способ разработки месторождений // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции (25-26 ноября 2021 г., Магнитогорск). – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. – Вып. 6. С. 208-213.

41. Бурмистров К.В., Гавришев С. Е., Рахмангулов А.Н. Оценка устойчивости функционирования системы вскрытия карьеров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 4. С. 123-132.

42. Бурмистров К.В., Осинцев Н.А. Ранжирование параметров и показателей устойчивого функционирования и развития системы вскрытия карьера методом fuzzy AHP // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. №3(45). С. 394-409.
43. Бурмистров К.В., Осинцев Н.А. Комбинированная FAHP-PROMETHEE модель выбора стратегии устойчивого развития горнотехнической системы // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции (25-26 ноября 2021 г., Магнитогорск). – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. – Вып. 6. С. 201-207.
44. Бутаков В., Фаградянц И. Политехнический терминологический толковый словарь. – М.: Polyglossum, 2014. – 526 с.
45. Вавилов, М.В. Наклонные подъемники на карьерах / М.В. Вавилов, Б.В. Фаддеев, В.С. Хохряков. – М.: Гоегортехиздат, 1962. – 151 с.
46. Васильев, М.В. Наклонные подъемники на карьерах / М.В. Васильев, Б.В. Фаддеев, В.С. Хохряков. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 152 с.
47. Васильев, М.В. Комбинированный транспорт на карьерах / М.В. Васильев – М., Недра, 1975. – 360 с.
48. Транспортирование горной массы с глубоких горизонтов карьеров / М.В. Васильев, В.Л. Яковлев, В.Б. Дёмкин, [и др.]. – Свердловск: Институт горного дела МЧМ СССР, 1984. – 93 с.
49. Васильев, М.В. Транспорт глубоких карьеров / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
50. Вахрамов, Е.Н. Оценка устойчивого развития и функционирования предприятия: факторы, критерии, особенности / Е.Н. Вахрамов, Д.Ю. Маркарян // Вестник АГТУ – 2008. – №4. – С. 52-62.
51. Вацлаев, И.И. Определение горизонтального эквивалента перемещения горной массы автотранспорта по энергетическому критерию при движении на уклонах / И.И. Вацлаев, А.В. Селиванов // Горный журнал. – 1997. – №9-10. – С. 78-

52. Видулин, А.Е. Метод расчета удельной протяженности проведения горных выработок и их стоимости / А.Е. Видулин, С.А. Михалев, С.И. Посыльный // Уголь. – 2001. – №5. – С. 30-33.
53. Вклад Урала в горное производство России за 300 лет. Урал горный на рубеже веков. / под ред. В.С. Хохрякова. - Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2000. - 678 с.
54. Владимиров, Д.Я. Обоснование параметров роботизированных горнотехнических систем в осложненных условиях открытой разработки месторождений полезных ископаемых: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22, 25.00.21 / Д.Я. Владимиров; МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2016. – 195 с.
55. Волков Б.А. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка. – М.: Транспорт, 1998. 191 с.
56. Волокитин А.Н., Наумов К.С., Бурмистров К.В., Соколовская О.А., Пикалов В.А. Выбор комплекса горнотранспортного оборудования для карьеров по добыче известняка в сложных горнотехнических условиях // Рациональное освоение недр. 2021. №5. С. 59-65.
57. Воробьев, А.Г. О механизме устойчивого развития горного производства / А.Г. Воробьев // Уголь. – 2007. – №5. – С. 76-77.
58. Ворошилов Г. А., Лель Ю. И. Энергоемкость транспортных систем карьеров: оценка и перспективы // Горная Техника. – 2007. №21
59. Гавришев С.Е. Использование карьерных подъемников при открыто-подземной разработке месторождений: монография / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев, Н.Г. Томилина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – 180 с.
60. Гавришев, С.Е. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров: монография / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 187 с.
61. Гавришев, С.Е. Особенности конструирования и расконсервации

временно нерабочих бортов / С.Е. Гавришев, А.А. Колонюк, К.В. Бурмистров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №2. – С. 272-275.

62. Гавришев, С.Е. Порядок и интенсивность отработки участков рабочей зоны карьера при изменении потребности в добываемом сырье / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №3. – С. 245-248.

63. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В. Изменение способа вскрытия карьера на различных этапах отработки крутопадающих месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, В.А. Кидяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №8. – С. 225-228.

64. Гавришев С.Е., Бурмистров, К.В. Выбор оптимального направления развития горных работ в период интенсивной разработки месторождения «Малый Куйбас» / К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, В.А. Кидяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №7. – С. 302-306.

65. Гавришев, С.Е. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев // Вестник Магнитогорского гос. технического ун-та им. Г.И. Носова. – 2010. – №3. – С. 5-7.

66. Обоснование целесообразности применения крутонаклонных подъемников в карьере при комбинированном способе разработки месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев, Н.Г. Томилина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №6. – С. 165-172.

67. Гавришев, С.Е. Обоснование факторов, обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина // Вестник Магнитогорского гос. технического ун-та им. Г.И. Носова. – 2012. – №4. – С. 5-10.

68. Гавришев, С.Е. Обоснование технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров,

Н.Г. Томилина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №4. – С. 108-115.

69. Гавришев, С.Е. Классификация технологических схем вскрытия глубоких горизонтов с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина // Горный журнал. – 2013. – №7. – С. 9–15.

70. / Гавришев С.Е. Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров [и др.] // Вестник Магнитогорского гос. технического ун-та им. Г.И. Носова. – 2014. – №1. – С. 7-11.

71. Изменение схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров при открыто-подземной разработке железорудных месторождений / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев // Сталь. – 2014. – №4 – С. 4-8.

72. Оценка эффективности применения технологических схем транспортирования руды при отработке законтурных запасов месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.Н. Рахмангулов [и др.] // Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 3. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №3 (специальный выпуск 15). – С. 131-139.

73. Гавришев, С.Е. Проектирование технологических схем вскрытия запасов и транспортирования горной массы при открыто-подземном способе разработки месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №51. – С. 291-300.

74. Гавришев С.Е. Обоснование технологических схем транспортирования горной массы с применением карьерных подъемников при разработке месторождений открыто-подземным способом / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров,

75. Гавришев, С.Е. Повышение эффективности комбинированной открыто-подземной разработки месторождений путем изменения схем вскрытия карьера / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев // Сб. ст. пятой международной

научно-практической конф. «Геотехнология-2010: проблемы индустриально-инновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна». – Джетыгара, 2010. – С.35-38.

76. Гавришев, С.Е. Проектирование технологических схем вскрытия глубоких горизонтов карьеров при комбинированной разработке месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина // XII-ая Национальная конф. с международным участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых. – Варна, 2013. – С. 37-42.

77. Гавришев С.Е. Обоснование схемы вскрытия карьера на заключительных этапах открытых горных работ для повышения эффективности комбинированной разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев, Н.Г. Томилина // Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности: мат. шестой междунар. науч.-практ. конф. – Алматы, 2013.– С.261-265.

78. Гавришев, С.Е. Выбор схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров на этапе перехода от открытого к подземному способу доработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина // Стратегия развития горно-металлургического комплекса Казахстана: тр. Международной научно-практической конф. – Алматы, КазНТУ им. К.И. Саптаева, 2013. – С. 25-32.

79. Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Бурмистров К.В., Гоготин А.А., Петрова О.В. Обоснование рациональных вариантов перехода с открытого на под-земный способ разработки месторождения «Малый Куйбас» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №4. – С. 132-139.

80. Гавришев С.Е. Обоснование параметров разработки Лысогорского месторождения кровельных сланцев / С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов, К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов// Горный журнал – 2018. – №12. – С. 42-46.

81. Гавришев С.Е. Обоснование схемы вскрытия и направления развития горных работ при реконструкции карьеров по добыче строительного камня / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов, Г.В. Михайлова // Горный журнал– 2018.

- №1. – С. 27-32.
82. Галиев С.Ж., Юсупова Л.И. Проблемы устойчивого развития горнодобывающего комплекса Казахстана. Доклад на Minex Центральная Азия. Казахстан. – 2013. – 8 с.
83. Галкин, В.А. Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Галкин. – Магнитогорск, 1987. – 290 с.
84. Галкин, В.А. О теории и методологии организации безопасного производства/ В.А. Галкин, А.М. Макаров, И.Л. Кравчук // Уголь. – 2016. – №4. – С. 39-43.
85. Галкин, В.И. Обоснование областей эффективного применения специальных видов конвейеров на карьерах / В.И. Галкин, Е.Е. Шешко // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 1. Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2014». – 2014. – №1. – С. 400-410.
86. Галустьян, Э.Л. Геомеханическое обоснование рациональных схем вскрытия и направления развития работ в карьерах / Э.Л. Галустьян, М.А. Сафронова // Горный журнал. – 2001. – № 12. – С. 20-30.
87. Гаравский, А.О. Критерии эффективности использования карьерного автотранспорта / А.О. Гаравский, И.Ф. Бондарев // Горная промышленность. – 2002. – №6. – С. 47-48.
88. Гибадуллин, З.Р. Технологические схемы транспортирования рудной массы при подземной отработке приконтурных запасов карьеров / З.Р. Гибадуллин, В.Н. Калмыков, О.В. Петрова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 159 с.
89. Глотов, В.В. Методические основы выбора рационального способа вскрытия мелкого месторождения / В.В. Глотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №12. – С. 278-286.
90. Горная энциклопедия / Под ред. Е.А. Козловского. М.: Советская энциклопедия, 1984. – 560 с.
91. Горная компания «Логинов и Партнеры». Разработка и продажа горного

оборудования. Каталог продукции. - 40 с.

92. Горное дело: Терминологический словарь / Под научной редакцией РАН К.Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д.Р. Каплунова. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство «Горная книга», 2016. — 635 с.

93. Горюнов, Ф.А. Создание метода оценки эффективности схем вскрытия при проектировании глубоких карьеров по физическим критериям: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Ф.А. Горюнов; РГГРУ. – Москва, 2013. – 24 с.

94. Громов, Е.В. Повышение эффективности разработки месторождения бедных руд в условиях экологических ограничений (на примере апатит-нефелинового месторождения "Партомчорр"): дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Е.В. Громов; Горн. ин-т Кольского науч. центра РАН. – Апатиты, 2016. – 164 с.

95. Громов, Е.В. Выбор транспортной схемы для выдачи руды при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых (на примере «Железный» Кавдорского ГОКа) / Е.В. Громов, А.А. Леонтьев, О.В. Белогородцев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – №8. – С.10-17.

96. Использование наклонных подъемников для транспортирования крупнокусковой горной массы на глубоких карьерах Заполярья / Ю.В. Демидов, К.Н. Трубецкой, С.С. Наумов, О.С. Головатая // Горный журнал. – 1998. – №7. – С. 42-45.

97. Довженок, А.С. Технологический аудит параметров работы карьерного автотранспорта / А.С. Довженок, М.Н. Ковалев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. - №4. – С. 252-256.

98. Дриженко, А.Ю. Развитие теории карьерных горнотранспортных систем / А. Ю. Дриженко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №10. – С. 134-142.

99. Дриженко, А.Ю. Этапная отработка вскрышных пород железорудных карьеров крутонаклонными выемочными слоями / А.Ю. Дриженко // Горный журнал. – 2011. – № 2. – С. 25-28.

100. Еремин Г.М. Разработка и применение эффективных технологических схем и процессов при освоении месторождений открытым способом в условиях карьеров Севера / Г.М. Еремин, В.Б. Мандров, Е.А. Салтан, Д.А. Степанов //

Инновационный потенциал Кольской науки: сб. науч. тр. – Апатиты: КНЦ РАН, 2005. – С. 76-80.

101. Жариков, Г.В. Конвейерный транспорт для глубоких карьеров / Г.В. Жариков, В.С. Бочков // Проблемы недропользования. – 2019. – №1. – С.50-55.
102. Зубков, А.В. Последовательность открыто-подземной отработки месторождений / А.В. Зубков // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – №7. – С.9-12.
103. Зубович, П.Т. О целесообразной глубине ввода конвейера при комбинированном транспорте / П.Т. Зубович, А.В. Селезнев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №2. – С. 182-185.
104. Зурков, П.Э. Разработка рудных месторождений открытым способом / П.Э. Зурков. – М.: Металлургиздат, 1953. – 527 с.
105. Иванов, В.А. Предпосылки применения транспорта непрерывного действия в комбинированных схемах технологического транспорта при вскрытии и отработки глубоких горизонтов карьеров / В.А. Иванов, М.Н. Драя // Горный журнал. – 2011. – № 4. – С. 59-62.
106. Иванов, Е.Д. Обоснование параметров рабочих зон карьеров на этапах их развития при разработке сближенных кимберлитовых трубок / Е.Д. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011.– №8. – С. 42-46.
107. Ивашов, Н.А. Обоснование способов вскрытия запасов за контурами карьеров при комбинированной разработке месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Н.А. Ивашов; Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2007. – 169 с.
108. Игнатьева, М.Н. Сущность понятия «Устойчивое развитие» / М.Н. Игнатьева, О.В. Косолапов // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – №2. – С.21-25.
109. Именитов, В.Р. Технология и организация производственных процессов при подземной разработке рудных месторождений / В.Р. Именитов.– М.: Недра, 1973. – 504 с.
110. Именитов, В.Р. Технология, механизация и организация

производственных процессов при подземной разработке рудных месторождений: Учебник для вузов / В.Р. Именитов. – М.: Недра, 1973. – 463 с.

111. Интенсификация разноса северного борта карьера «Малый Куйбас» для увеличения объемов добычи руды до 2,4 млн. т. в год: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2008-16 / Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова; рук. Гавришев С.Е.; исполн.: Бурмистров К.В. [и др.]. – Магнитогорск, 2008. – 63 с.

112. Информационно-аналитический портал «Горное дело» [Электронный ресурс]. – URL <http://www.gornoedelo.ru>].

113. Исмаилов Т.Т. Принципы безотходности поэтапной разработки золоторудных месторождений / Т.Т. Исмаилов, А.В. Логачев, В.И. Голик, Б.С. Лузин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №7. – С. 173-178.

114. Калмыков, В.Н. Оценка устойчивости функционирования горнотехнической системы при подземной разработке медно-колчеданных месторождений / В.Н. Калмыков, О.В. Петрова, Ю.Д. Мамбетова // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2017. – №3 – С. 5-11.

115. Каплан, А.В. Управление социально-экономическим развитием горнодобывающего предприятия: теория и методология: автореф. дис. ... докт. экон. наук: 08.00.05 / А.В. Каплан; Южно-Уральский. гос. ун-т. – Челябинск, 2015. – 39 с.

116. Каплунов, Д.Р. Условия устойчивого развития минерально-сырьевого комплекса России / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №S1. – С. 3-11.

117. Каплунов, Д.Р. Принципы проектирования и реализации горнотехнических систем с полным циклом освоения рудных месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // ФТПРПИ. – 2013. – С. 3-11.

118. Каплунов, Д.Р. Систематизация и типизация горнотехнических систем комбинированной геотехнологии / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, С.А. Корнеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №11. – С. 194-205.

119. Каплунов, Д.Р. Комбинированная геотехнология / Д.Р. Каплунов, В.Н. Калмыков, М.В. Рыльникова. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. –

560 с.

120. Каплунов, Д.Р. Комбинированная геотехнология при освоении алмазоносного месторождения трубы «Удачная» / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, В.Н. Калмыков [и др.] // Горная промышленность. – 2005. – №4. – С. 22-26.
121. Каплунов, Д.Р. Условия формирования горнотехнических систем с единым технологическим пространством при комбинированной геотехнологии / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №3. – С. 5-9.
122. Каплунов, Д.Р. Проектирование формирования и развития горнотехнических систем при комбинированной геотехнологии / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Спец выпуск № 45-1. Открытые горные работы в XXI веке-1. – 2015. – С. 229-240.
123. Каплунов, Д.Р. Развитие теоретической базы проектирования горных предприятий/ Д.Р. Каплунов // Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2015». Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №1. – С. 391-406.
124. Каплунов, Д.Р. Геотехнология перехода от открытых к подземным горным работам: учебное пособие / Д.Р. Каплунов, В.А. Юков. – М.: Горная книга, 2007. – 267 с.
125. Кармаев, Г.Д. Крутонаклонный конвейер с движущимися прижимными элементами / Г.Д. Кармаев, А.В. Глебов, И.Г. Сумина // Горная техника. – 2012. – С. 88-90.
126. Картавый, А.Н. Перспективы применения крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой при ЦПТ / А. Н. Картавый // Горный журнал. – 2003. - № 6. – С. 52-56.
127. Колесников, В.Ф. Развитие и обоснование способов и схем вскрытия рабочих горизонтов угольных карьеров: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.03 / В.Ф. Колесников; Кузбасский гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1999. – 325 с.
128. Колибаба, В.Л. Поэтапное освоение месторождений богатых железных

руд КМА / В.Л. Колибаба, Ф.Ф. Киреев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №3. – С. 213-221.

129. Коломников, С.С. Разработка и адаптация методов и средств интенсификации циклично-поточной технологии открытой разработки сложно-структурных месторождений / С.С. Коломников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №2. – С. 314-321.

130. Корнилков, С.В. Управление рабочей зоной действующих и проектируемых глубоких карьеров: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.03 / С.В. Корнилков. – Екатеринбург, 1997. – 304 с.

131. Кортелев, О.Б. Перспективы комбинированного транспорта на угольных карьерах / О.Б. Кортелев, С.Г. Молотилов, В.К. Норри // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №1. – С. 170-173.

132. Косолапов, А.И. Исследование потенциальных возможностей интенсификации производственной мощности карьеров при этапной разработке крутопадающих месторождений в современных условиях / А.И. Косолапов, А.И. Пташник // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №6. – С. 50-56.

133. Кравченко, Ф.А. Ведение горных работ в условиях сокращения рабочей зоны глубокого карьера / Ф.А. Кравченко, С.К. Рубцов, А.А. Силкин // Горный журнал. – 2007. – № 5. – С. 30-33.

134. Крысин, Л.П. Толковый словарь иноязычных слов: Ок. 25000 слов и словосочетаний / Л.П. Крысин. – Москва: Рус. яз., 1998. – 846 с.

135. Кузнецов, О.Л. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа-общество-человек / О.Л. Кузнецов, П.Г. Кузнецов, Б.Е. Больщаков. - СПб.: Дубна: Гуманистика, 2002. – 616 с.

136. Кузнецов, Д.В. Обоснование технологических комплексов горнотранспортного оборудования для открытой разработки рудных месторождений в суровых климатических условиях: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Д.В. Кузнецов; Иркут. нац. исслед. техн. ун-т – Красноярск, 2015. – 150 с.

137. Куклина, Е.А. Устойчивое развитие горнoprомышленных систем: принципы, условия, критерии, показатели / Е.А. Куклина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №2. – С. 120-124.
138. Кулешов, А.А. Способы повышения качества функционирования систем карьерного автотранспорта в современных условиях / А.А. Кулешов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №5. – С. 311-316.
139. Лель, Ю.И. Обоснование глубины перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров / Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №6. – С. 313-319.
140. Лель, Ю.И. Методы расчета параметров устойчивой работы автотранспорта глубоких карьеров: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.03 / Ю.И. Лель. – Екатеринбург, 1999. – 292 с.
141. Лель Ю.И. Технологические схемы перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров / Ю.И. Лель, А.В. Глебов, Д.Х. Ильбульдин [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – №8. – С.4-12.
142. Листопад, Г.Г. Наклонные подъемники карьерного автотранспорта / Г.Г. Листопад // Горная промышленность. – 2001. – №2. – С. 57-58.
143. Лось, В.А. Устойчивое развитие: учебное пособие / В.А. Лось, А.Д. Урсул. – М.: Агар, 2000. – 252 с.
144. Макаров, А.М. Теоретические основы и методы обеспечения жизнеспособности угледобывающего предприятия: дис. ... д-ра техн. наук: 08.00.28 / А.М. Макаров. – Челябинск, 1997. – 202 с.
145. Макаров В.Н. Генезис эффективности крутонаклонного ленточного конвейерного транспорта / В.Н. Макаров, В.Я. Потапов, Н.В. Макаров, А.В. Угольников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – №5. – С. 165-170.
146. Малахов Г.М., Черноус А.П. Вскрытие и разработка рудных месторождений на больших глубинах. - Москва: Госгортехиздат, 1960. - 300 с.
147. Мальгин О.Н. Совершенствование циклично-поточной технологии

горных работ в глубоких карьерах: монография / О.Н. Мальгин, П.А. Шеметов, В.Т. Лашко, С.С. Коломников. – Ташкент: Фан, 2002. – 144 с.

148. Карьерный автотранспорт. Состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.

149. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем: учебное пособие / В.Р. Матвеевский. – М.: Моск. гос. ин-т электроники и математики, 2003. – 113с.

150. Майминд, В.Я. Карьерный транспорт железорудных предприятий США и Канады / В.Я. Майминд, М.Е. Вихман, М.М. Казинник. – М.: Черметинформация, 1976.

151. Мельников, Н.Н. Большие глубины – новые технологии / Н.Н. Мельников, А.А. Козырев, С.В. Лукачёв // Вестник КНЦ РАН. – 2013. – № 4. – С. 58-66.

152. Мельников Н.В. Вопросы выбора производственной мощности карьера / Н.В. Мельников, К.Е. Виницкий, В.С. Меньшов, Э.И. Реентович. – М.: Наука, 1971. – 167 с.

153. Мельников, Н.В. Классификация способов вскрытия и систем разработки месторождений открытым способом / Н.В. Мельников // Горный журнал. – 1974. – №12. – С. 3-8.

154. Мельников, Н.В. Типовые проекты систем разработки и транспорта на карьерах. Центрогипрошахт. Транспортная система разработки / под общ. ред. Н. В. Мельникова. – М.: Госгортехиздат, 1962. – Т. 2. – 463 с.

155. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: [Утверждено: М-вом экон. РФ, М-вом финансов РФ, Гос. комитетом по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999 г.] – М.: Экономика, 2000 г. – 414 с.

156. Минкин, А Новая концепция циклично-поточного крутонааклонного транспорта с применением внутрикарьерной системы дробления и транспортировки (IPCC) для добычи открытым способом / А. Минкин, Ф.М. Вольперс, Т Хелльмут // Уголь. – 2018. – № 5(1106). – С. 34-39.

157. Транспортная логистика: учебник для транспортных вузов. / Миротин

Л.Б., Ташбаев І.Э., Гудков В.А. [и др.]; под общей редакцией Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2002. – 512 с.

158. Мулухов, К.К. Модернизированный комплекс оборудования круто-наклонного конвейерного подъемника для крупнокусковых горных грузов и глубоких карьеров / К.К. Мулухов, З.Н. Беслекоева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. - № 4. – С. 179-188.

159. Невдяев Л.М. Телекоммуникационные технологии. Англо-русский толковый словарь-справочник / Под редакцией Ю.М. Горностаева. – М. – 2002.

160. Никишичев, С.Б. К вопросу определения оптимального периода долгосрочного планирования для горнодобывающих предприятий / С.Б. Никишичев, А.А. Твердов, А.В. Жура // Горная промышленность. – 2010. – №6. – С. 38-42.

161. Николаев, Ю.А. Методические основы расчета сколов шахтных и карьерных пневмоподъемных установок / Ю.А. Николаев, Б.А. Жаутипов // Уголь. – 2006. – №11. – С. 32-33.

162. Новожилов, М.Г. Глубокие карьеры / М.Г. Новожилов, В.Г. Селянин, А.Е. Троп. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 258 с.

163. Новожилов, М.Г. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / М.Г. Новожилов, А.Ю. Дриженко, А.М. Маевский, И.Э. Ястржембский, В.П. Усань // Горный журнал, 1981. - №4. С. 38 – 42 с ил.

164. Обоснование параметров и технологии формирования внутренних отвалов для сокращения работы автомобильного транспорта в период реконструкции карьера «Малый Куйбас» [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2006-50 / Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова; рук. Гавришев С.Е.; исполн.: Бурмистров К.В. [и др.]. – Магнитогорск, 2006. – 59 с.

165. Обоснование рациональных вариантов перехода с открытого на подземный способ разработки месторождения «Малый Куйбас» [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2012-18 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова»; рук. Калмыков В.Н., Гавришев С.Е.; исполн.: Бурмистров К.В. [и др.]. – Магнитогорск, 2012. – 134 с.

166. Обоснование рациональных объемов добычи известняков, глин и выемки

вскрышных пород Центрального и Северо-Западного карьеров Аккермановского месторождения, обеспечивающих минимальный текущий коэффициент вскрыши [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2018-23 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова»; рук. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В.; исполн.: Заляднов В.Ю. [и др.]. – Магнитогорск, 2019. – 76 с. – № АААА-А19-119030190012-9.

167. Одаев, Д.Г. Оценка возможности управления транспортной работой при поэтапной разработке месторождения группой карьеров / Д.Г. Одаев, А.И. Косолапов, Д.Е Малофеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №6. – С. 246-249.

168. Ордин, А.А. Выбор оптимальной глубины перехода от открытых работ к подземным при отработки угольного месторождения / А.А. Ордин, В.И. Васильев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. - №4. – С.97-108.

169. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., Багинова В.В. Инновации в области зелёной логистики // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2(75). – С. 196–211.

170. Осинцев, Н.А. Факторы устойчивого развития транспортно-логистических систем / Н.А. Осинцев, Е.В. Казармщикова // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2017. – №1. – С. 13-21.

171. Осинцев Н.А. Безопасность транспортно-технологических процессов открытых горных работ: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 115 с.

172. Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н., Сладковский А.В. Ранжирование инструментов зеленой логистики комбинированным методом fuzzy AHP-Topsis // Транспорт Урала. 2020. № 1 (64). С. 3-14.

173. Патент на полезную модель 186195 РФ. Карьерное подъемное устройство / А.А. Гоготин, В.Н. Калмыков, С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров. – Опубл. 11.01.2019, Бюл. №2.

174. Пешков А.М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Урала: дис.

... канд. техн. наук: 25.00.21 / А.М. Пешков; ИПКОН РАН. – Москва, 2014. – 160 с.

175. Пешкова, М.Х. Определение предельной глубины перехода на подземные горные работы при разработке кимберлитовых месторождений / М.Х. Пешкова, И.Е. Кузьмина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №6. – С. 332-334.

176. Пикалов В.А. Обоснование эффективных параметров комбинированного открыто-подземного способа разработки угольных месторождений / В.А. Пикалов, А.В. Соколовский, В.Н. Василец, К.В. Бурмистров [и др.] // Горный журнал. – 2016. – №1. – С. 67-72.

177. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

178. Потапов, М.Г. Направления развития карьерного транспорта / М.Г. Потапов // Горная промышленность. – 2002. – №6. – С. 50-55.

179. Принципы деятельности в горнодобывающей отрасли / Документ Европейского банка реконструкции и развития. Утвержден Советом директоров на заседании 17.10.2012 г. – 127 с.

180. Пыталев, И.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии комплексного освоения крутопадающих месторождений для устойчивого развития горнотехнических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22, 25.00.21 / И.А. Пыталев; Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 2019. – 349 с.

181. Ракишев, Б.Р. Определение границ применения различных видов колесного транспорта на карьерах / Б.Р. Ракишев, А.Б. Бегалинов, И. В. Лункин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №10. – С. 150-152.

182. Ракишев, Б.Р. Рациональное расположение вскрывающих выработок в карьерном поле / Б.Р. Ракишев, М.И. Жаркенов, И.В. Лункин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №12. – С. 76-78.

183. Ракишев, Б.Р. Ресурсосберегающее вскрытие при вовлечении в разработку смежного участка карьерного поля / Б.Р. Ракишев, С.К. Молдабаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №9. – С. 196-209.

184. Решетняк, С.П. Обоснование и разработка схем циклично-поточной

технологии с внутрикарьерными передвижными дробильно-перегрузочными комплексами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.03 / С.П. Решетняк; Горный ин-т Кольского научного центра РАН – Апатиты, 1998. – 423 с.

185. Решетняк С.П Актуальные направления развития методов проектирования горнодобывающих предприятий // Горная промышленность. 2015. № 3 (121). С. 22-26.

186. Ржевский, В.В. Строительство карьеров / В.В. Ржевский. – М.: Углехиздат, 1952. – 96 с.

187. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Часть 1. Производственные процессы: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 509 с.

188. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Часть 2. Технология и комплексная механизация: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 549 с.

189. Ржевский, В.В. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров / В.В. Ржевский. В.В. Истомин, В.И. Супрун // Горный журнал. – 1982. – №11. – С. 27-30.

190. Рыбин, В.В. Развитие теории геомеханического обоснования рациональных конструкций бортов карьеров в скальных тектонически напряженных породах: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.20 / В.В. Рыбин; Горный ин-т Кольского научного центра РАН. – Апатиты, 2016. – 383 с.

191. Рыльникова, М.В. Комплексное освоение рудных месторождений комбинированным способом: монография / М.В. Рыльникова. – Магнитогорск: Изд. МГТУ, 1998. – 135 с.

192. Рыльникова, М.В. Проектирование горнотехнических систем / М.В. Рыльникова // Промышленность Казахстана. – 2004. – № 8. – С. 36-39.

193. Рыльникова, М.В. Принципы проектирования горно-технических систем при внедрении нового технологического уклада // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу / под ред. В.Н. Калмыкова, М.В.

Рыльниковой // Материалы докладов Международной конференции, г. Магнитогорск, 2019: Сб. тез. – Магнитогорск: МГТУ, 2019. – С. 51-53.

194. Рыльникова М.В., Струков К.И., Олизаренко В.В., Туркин И.С. Перспективы применения и оценка параметров энергоэффективных геотехнологий при комплексном освоении месторождений // Горный журнал. 2017. N11. С. 71–76.

195. Ряховская А.Н. Устойчивое функционирование и развитие предприятий: основные механизмы, принципы, критерии оценки // Эффективное антикризисное управление. – 2012. – № 2(71). – С. 58–66.

196. Савич, И.Н. Научное обоснование технологических решений при подземной разработке кимберлитовых месторождений: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22 / И.Н. Савич; Московский гос. горный ун-т. – М.: 2004. – 304 с.

197. Савич, И.Н. Глубина перехода к подземной разработке кимберлитовых месторождений / И.Н. Савич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №5. – С. 179-181.

198. Саканцев Г.Г. Внутреннее отвалообразование на глубоких рудных карьерах / Саканцев Г.Г. – Екатеринбург: УрО РАН, , 2008. – 225 с.

199. Свид. 2019660188. Программа расчета параметров транспортной бермы и прирезаемых объемов горной массы / А.Н. Шакшакпаев, К.В. Бурмистров, Н.Г. Томилина, Н.А. Осинцев; правообладатель ФГБОУ ВО «МГТУ». Опубл. 02.08.2019, Бюл. №8.

200. Семёнкин, А.В. Учет фактора времени при определении эффективности применения комплексов ЦПТ / А.В. Семёнкин // Известия Уральского гос. горного ун-та. – 2017. – №1 – С. 72-75.

201. Симаков П.Г. Опыт проектирования и строительства скрепового подъемника на Сибайском карьере / П.Г. Симаков, К.А. Долинин, В.С. Хохряков [и др.] // Горный журнал. – 1975. – №10. – С. 20-23.

202. Смилянов, А. Сфера рационального применения различных видов транспорта на открытых горных работах / А. Смилянов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1997. – №6. – С. 129-132.

203. Снитка Н.П., Крутонаклонные конвейеры – реалии инновационного развития технологии открытых горных работ / Н.П. Снитка, С.С. Коломников, В.Н. Сытенков // Рациональное освоение недр. – 2011. – № 2. – С. 48-53.
204. Соколовский, А.В. Методология проектирования технологического развития действующих карьеров: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.21, 05.02.22 / Соколовский А.В; Московский гос. гор. ун-т. – Москва, 2009. – 332 с.
205. СП 37.13330.2012 «Промышленный транспорт». М., 2012 (актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91*).
206. Старикив, Н.А. Вскрытие рудных месторождений / Н.А. Старикив. – М.: Металлургиздат, 1957 – 350 с.
207. Сытенков, В.Н. Оценка перспектив применения комбинированной разработки месторождения Мурунтау / В.Н. Сытенков, У.М. Абдуллаев, А.А. Силкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – №1. – С. 164-166.
208. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 231 с.
209. Тарасов, П.И. Анализ и перспективы применения перегрузочных пунктов при эксплуатации специализированного карьерного транспорта в глубинных зонах карьеров / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.Р. Баланчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №7. – С. 320-328.
210. Терёхина, Ю.В. Обоснование оптимальных параметров малых карьеров на предпроектной стадии оценки: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Ю.В. Терёхина; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург, 2006. – 120 с.
211. Технический проект «Техническое перевооружение опасного производственного объекта - карьер «Юбилейный». Перенос капитального съезда на западный борт карьера с отметки поверхности до отм. + 90 м зумпфовой насосной станции карьерного водоотлива» [Текст]: отчет о НИР (заключ.): № ИТЦ 2018-16 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; рук. Гавришев С.Е.; исполн.: Бурмистров К.В. [и др.]. – Магнитогорск, 2018. – 248 с.
212. Технико-экономическое обоснование варианта развития горных работ и

направления транспортирования горной массы на Северо-Круторожинском месторождении габбро-диабазов и диабазов [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2016-34 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; рук. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В.; исполн.: Заляднов В.Ю. [и др.]. – Магнитогорск, 2017. – 172 с. – № АААА-А16-116112810038-2.

213. Технико-экономическое обоснование разработки Аккермановского месторождения марганцевых руд [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2019-35 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»; рук. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В.; исполн.: Заляднов В.Ю. [и др.]. – Магнитогорск, 2019. – 162 с.

214. Технико-экономическое обоснование целесообразности строительства подземного рудника на месторождении «Малый Куйбас» [Текст]: отчет о НИР (заключ.): Тема № 2020-20 / ФГБОУ ВО «Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова»; рук. Калмыков В.Н., Гавришев С.Е.; исполн.: Бурмистров К.В. [и др.]. – Магнитогорск, 2021. – 231 с.

215. Толковый словарь русского языка: 72500 слов и 7500 фразеологических выражений / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова; Российской АН, Ин-т рус. яз., Российский фонд культуры. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Азъ, 1994.

216. Трубецкой, К.Н. Проектирование карьеров: учебник для вузов / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – Т. II. – 535 с.

217. Проектирование карьеров: учебник для вузов / К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин, В.С. Коваленко. – 3-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2009. – 694 с.

218. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Виницкий [и др.] - М.: Горное бюро, 1994. - 590 с.

219. Регулирование вскрышных работ в глубоких карьерах / В.И. Усынин, А.Л. Грицай, С.П. Решетняк [и др.] – Л.: Наука, 1982. – 188 с.

220. Устойчивое развитие горнодобывающих предприятий и регионов в рамках концепции *synchro-mining* / А.Н. Шашенко, М.С. Пашкевич, А.В. Солодянкин,

С.Н. Гапеев, С.А. Воронин // Перспективы развития строительных технологий: 8-я межд. науч.-практ. конф. – Д.: Национальный горный университет. – 2014. – С. 184–191.

221. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 505 (зарегистрирован в Минюсте России 21.12.2020 № 61651).

222. Федотенко, В.С. Обоснование параметров и разработка технологии эффективного перехода к отработке мощных угольных месторождений высокими вскрышными уступами: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.21, 25.00.22 / В.С. Федотенко; Москва. ИПКОН РАН. – М., 2018. – 300 с.

223. Фомин, С.И., Овсянников, М.П. Особенности технологии открытой разработки крутопадающих рудных месторождений этапами // Маркшейдерия и недропользование. 2020. № 1 (105). С. 41-44.

224. Хохряков В.С. Поэтапное развитие горных работ на карьерах / В.С. Хохряков, П.Т. Церенщиков. – М.: Цветметинформация, 1968. – 54 с.

225. Хохряков, В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / В.С. Хохряков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 336 с.

226. Хохряков, В.С. Проектирование карьеров: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1992. 383 с.

227. Хохряков, В.С. Оценка эффективности инвестиционных проектов открытых горных разработок: учебное пособие / В.С. Хохряков. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1996. – 180 с.

228. Хохряков, В.С. Горное производство цветной металлургии Урала / под. ред. В.С. Хохрякова. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2004. – 653 с.

229. Чебан А.Ю., Хрунина Н.П. Модернизация транспортно-перегрузочного оборудования при ведении открытых горных работ // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №1. С.

230. Черных, А.Д. Эффективность открыто-подземной разработки месторождений полезных ископаемых / А.Д. Черных, О.С. Брюховецкий. – М.: Цветметинформация, 1988. – 52 с.
231. Ческидов, В.И. Комплексное обоснование границ карьеров и способов вскрытия глубоких горизонтов при разработке крутопадающих пластообразных залежей / В.И. Ческидов, Г.Г. Саканцев, М.Г. Саканцев // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – №2. – С.17-23.
232. Четверик, М.С. Вскрытие глубоких горизонтов при циклично-поточной технологии на карьерах / М.С. Четверик // Горный журнал. – №4. – 1982. – С. 22-26.
233. Четверик, М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте/ М.С. Четверик// Киев: Наук. думка, 1986. –188 с.
234. Шахрай С.Г., Курчин Г.С., Сорокин А.Г. Новые технические решения по проветриванию глубоких карьеров // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 654-659.
235. Шеметов, П.А Интенсификация темпов углубки на участке юго-западного борта карьера Мурунтау / П.А.Шеметов, А.Р. Кабиов // Горный вестник Узбекистана. – 2003. – №1. – С. 14-17.
236. Шешко, Е.Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей / Е.Ф. Шешко. – М.: Углехиздат, 1953. – 216 с.
237. Шешко, О.Е. Экологически безопасные транспортные средства для карьеров / О.Е. Шешко // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2009. – С. 474-482.
238. Шешко, О.Е. Эколого-экономическое обоснование возможности снижения нагрузки на природную среду от карьерного транспорта / О.Е. Шешко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №2. – С. 241-252.
239. Шешко, Е.Е. Эффективный транспорт для глубоких карьеров / Е.Е. Шешко, А.Н. Картавый // Горный журнал. – 1998. – №1. – С. 53-56.

240. Шилин, А.Н. Исследование открытой разработки скальных пород и руд с применением конвейерного транспорта: дис. ... д-ра техн. наук: 05.00.00 / А.Н. Шилин; ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1972. – 359 с.
241. Шорохов, С.М. Разработка россыпных месторождений и основы проектирования: учебник для горных вузов / С.М. Шорохов. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 764с.
242. Шпанский, О.В. Развитие основ горно-геометрического моделирования карьеров при проектировании разработки крутопадающих месторождений: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.03 / О.В. Шпанский; С.-Петербург. гос. горный ин-т. им. Г.В. Плеханова. – СПб, 1999. – 324 с.
243. Шпанский, О.В. Влияние капитальной схемы вскрытия на конечные контуры карьеров / О.В. Шпанский // Горный журнал. – 2002. – № 11-12. – С. 37-42.
244. Щелканов, В.А. Подземные выработки на карьерах / В.А. Щелканов – М., Недра, 1982. – 128 с.
245. Щелканов, В.А. Комбинированная разработка рудных месторождений / В.А. Щелканов. – М.: Недра, 1974. – 232 с.
246. Юматов, Б.П. Строительство и реконструкция рудных карьеров / Б.П. Юматов, Ж.В. Бунин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1978. – 231с.
247. Ютяев, А.Е. Комплексное обоснование параметров горнотехнических систем высокопроизводительных угольных шахт: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / А.Е. Ютяев; Нац. исслед. технол. ун-т. – Москва, 2017. – 128 с.
248. Яковлев, В.Л. Методические принципы оптимизации параметров конвейерного оборудования в системах ЦПТ / В.Л. Яковлев, Г.Д. Кармаев, А.П. Тюлькин // Карьерный транспорт: Проблемы и решения. – 2001. – С 142-152.
249. Яковлев, В.Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В.Л. Яковлев, А.В. Гальянов. – 2-е издание. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 151 с.
250. Яковлев В.Л. Об эффективности применения циклично-поточной технологии горных работ на карьерах / В.Л. Яковлев, Г.Д. Кармаев, В.А. Берсенев [и др.]

// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – №1. – С. 100-109.

251. 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.

252. Яковлев, В.Л. Транспорт глубоких карьеров: состояние, проблемы, перспективы развития / В.Л. Яковлев // Горное дело. – 2013. – №1. – С. 11-18.

253. Яковлев, В.Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В.Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1-1. – С. 65-76.

254. Яковлев, В.Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов / В.Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2015. – №3. – С. 5-11.

255. Яковлев В.Л. 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.

256. Яковлев, В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В.Л. Яковлев. – Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1989. – 238 с.

257. Яковлев, В.Л. Основные аспекты формирования и новые научные направления исследований транспортных систем карьеров / В.Л. Яковлев, Ю.А. Бахтурин, А.Г. Журавлев // Наука и образование. – 2015. – №4. – С. 67-72.

258. Яковлев, В.Л. Перспективные способы крутонаклонного подъема горной массы рельсовым транспортом / В.Л. Яковлев, С.Л. Фесенко, Д.Н. Неугодников // Карьерный транспорт: проблемы и решения. – 2001. – С 38-43.

259. Яковлев В.Л. Условия применения на карьерах комплексов ЦПТ с крутонаклонным конвейерным подъемом / В.Л. Яковлев, В.П. Смирнов, Г.Д. Кармаев, А.П. Тюлькин – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2001. – С 12-25.

260. Яковлев В.Л. Специализированные виды автотранспорта для

горнодобывающих предприятий / В.Л. Яковлев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, А.Г. Ворошилов, А.П. Тарасов, Е.В. Фефелов, В.О. Фурин // Горная промышленность. 2007. № 6 (76). С. 44-50.

261. Яковлев В.Л., Корнилков С.В. Геотехнологические проблемы и особенности ведения горных работ на глубоких карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S56. С. 54-66.

262. Приказ от 25 июня 2010 г. N 218 Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений твердых полезных ископаемых, ликвидацию и консервацию горных выработок и первичную переработку минерального сырья».

263. Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990-2008 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2009. – 370 с.

264. Aasly K., Ellefmo S. Geometallurgy applied to industrial minerals operations // Mineralproduksjon. – 2014. – V. 5. – A21-A34.

265. Acaroglu O., Ergin, H., Eskikaya S. Analytical hierarchy process for selection of roadheaders // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2006. N106. pp. 569–575.

266. Adebimpe R. A., Akande J., Arum C. Mine equipment selection for Ajabanoko Iron Ore Deposit, Kogi State, Nigeria // Science Research. 2013. T.1. N2. p. 25.

267. Aghajani Bazzazi A., Osanloo M., Karimi B. A new fuzzy multi criteria decision making model for open pit mines equipment selection // Asia-Pacific Journal of Operational Research. 2011. T.28. N3. pp. 279–300.

268. Agosti A., Utili S., Gregory D., Lapworth A., Samardzic J. & Prawasono A. Design of an open-pit gold mine by optimal pitwall profiles, CIM Journal, (2021), pp. 1-21.

269. Anjali Awasthi. Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems/ Anjali Awasthi, Satyaveer S. Chauhan, Hichem Omrani // Elsevier. Expert Systems with Applications 38. – 2011. – P. 12270-12280.

270. Bakhtavar, E. Transition from Open-Pit to underground as anew optimization

challenge in mining engineering / E. Bakhtavar, K. Shahriar, K. Oraee // Journal of Mining Science. – 2009. – Vol. 45, №. 5 – P. 485-494.

271. Baloyi V. D., Meyer L. D. The development of a mining method selection model through a detailed assessment of multi-criteria decision methods // Results in Engineering. 2020. 8. № 1. p. 100-172.

272. Bascetin A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine // Environmental Geology. 2007. T.52. N4. pp. 663–672.

273. Bascetin A. The study of decision making tools for equipment selection in mining engineering operations // Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management. 2009. T.25. N3. pp. 37–56.

274. Bejari H., Daya A., Roudini A. Selection of chromite processing plant site using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) // Journal of Mining & Environment. 2017. T.8. N2. pp. 155–162.

275. Brauers, W.K.M.; Zavadskas, E.K.: The MOORA method and its application to privatization in a transition economy // Control and Cybernetics. 2006. 35. № 2. 445–469.

276. Buckley J.J. Fuzzy hierarchical analysis // Fuzzy Sets and Systems. 1985. T.17. N3. pp. 233–247.

277. Burchett, T. Optimizing an engineered slope conveyor system; An OEM/operator collaboration / T. Burchett, B. Young // Mining engineering, Conveyors, January 2013. – P. 18-25.

278. Burmistrov, K.V. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction / K.V. Burmistrov, N.A. Osintsev, A.N. Shakshakpaev // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. – 1696-1702.

279. Chang D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP // European Journal of Operational Research. 1996. T.95. N3. pp. 649–655.

280. Churchman C. W., Ackoff R. L. An Approximate Measure of Value // Journal of the Operations Research Society of America. 1954. 2. № 2. C. 172–187.

281. Conference of the Parties – Twenty-first session. Paris, 30.11-11.12.2015. –

URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (дата обращения 20.05.2019).

282. Copper: Technology and Competitiveness. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1988.

283. Despodov Z., Mirakovski D., Mijalkovski S. Methodology for selection of the most convenient ore transportation system in regard to the environmental protection // The International Journal of Transport and Logistics. 2013. N13(26). 10 p.

284. De Werk Marco. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study / Marco de Werk, B. Ozdemir, B. Ragoub, T. Dunbrack, M. Kumral // The Engineering Economist, P. 1-18.

285. Dey P.K., Ramcharan E.K. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados // Journal of Environmental Management. 2008. T.88. N4. pp. 1384–1395.

286. Dutta R. Green mining of rare Earth elements (REE) to diminish greenhouse gas (GHG) footprint. // Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. – Elsevier, 2020. – P. 513–525.

287. Dzakpata, I. Truck and Shovel Versus In-Pit Conveyor System: a Comparison Of The Valuable Operating Time / I. Dzakpata, P. Knights, M. S. Kizil, M. Nehring, S. M. Aminossadati // Coal Operator's Conference, The University of Wollongong, 10-12 February 2016. – P. 463-476.

288. Dindarloo, S.R. Results of Discrete Event Simulation in a Large Open Pit Mine / S.R. Dindarloo, M. Osanloo // SME Annual Meeting, Feb. 15-18 2015. – P. 1-4.

289. Eugene, Ben-Awuah Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both / Ben-Awuah Eugene, Richter Otto, Elkington Tarrant, Pourrahimian Yashar // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – P. 1-7.

290. Epstein, R. Optimizing Long-Term Production Plans in Underground and Open-Pit Copper Mines / R. Epstein, M. Goic, A. Weintraub, J. Catalan, P. Santibanez, R. Urrutia, R. Cacino, S. Gaete, A. Aguayo, F. Caro // Operation Research. – 2012. –

291. Ercelebi, S.G. Optimization of Shovel-truck system for surface mining / S.G. Ercelebi, A. Bascetin // The Journal of The Southem African Institute of Mining and Metallurgy, July 2009. – Vol. 109. – P. 433-439.
292. Franz M. Wolpers. Skip-conveying in opencast mines technology approach to optimize the cost and energy efficiency in hard rock mines // Gluckauf. 2013. – Vol.4. – pp. 38-43.
293. Flores G., Catalan A. A transition from a large open pit into a novel ``macroblob variant" block caving geometry at Chuquicamata mine, Codelco Chile // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. 11. № 3.
294. Franz M. Wolpers. A new approach to steep-angle conveying in quarries and smaller open-pit mines with thyssenkrupp's Skip Way System // AT-Mineral processing, May 2016. – pp.48-58.
295. First Quantum Acquires Adastra // E&MJ, Regional news: Africa, June 2006.
296. Gavrishev, S. E. Increasing the work scope of conveyor transport at mining companies / S. E. Gavrishev, K.V. Burmistrov, N.G. Tomilina // Procedia Engineering, 2016. – Vol. 150. – P. 1317-1321.
297. Gedam V. V., Raut R. D., Lopes de Sousa Jabbour A. B., Agrawal N. Moving the circular economy forward in the mining industry: Challenges to closed-loop in an emerging economy // Resources Policy. 2021. 74. № 2. C. 102279.
298. Golestanifar M., Aghajani Bazzazi A. TISS: a decision framework for tailing impoundment site selection // Environmental Earth Sciences. 2010. T.61. N7. pp. 1505–1513.
299. Govindan K., Kannan D., Shankar K. M. Evaluating the drivers of corporate social responsibility in the mining industry with multi-criteria approach: A multi-stakeholder perspective // Journal of Cleaner Production. 2014. 84. № 3. C. 214–232.
300. Greberg, J. Alternative Process Flow for Underground Mining Operations: Analysis of Conceptual Transport Methods Using Discrete Event Simulation / J. Greberg, A. Salama, A. Gustafson, B. Skawina // Minerals, Vol. 65, № 6. – 2016. – P. 1-14.

301. Gupta P., Mehlawat M.K., Aggarwal U., Charles V. An integrated AHP-DEA multi-objective optimization model for sustainable transportation in mining industry // Resources Policy. 2018. 12 p.
302. Han, Yong-Hee Dynamic sequencing of jobs on conveyor systems for minimizing changeovers / Yong-Hee Han, C. Zhou // Int J Adv Manuf Technol, 2010. – P. 1251-1259.
303. <http://www.finanz.ru/birzhevyye-tovary/grafik/zheleznaya-ruda-cena>
304. Hwang C.-L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-the-Art Survey. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. T.186. 1 Online-Ressource (XII, 270 Seiten 1 Illustration).
305. Identifying and clarifying environmental policy best practices for the mining industry–A systematic review / F.X. Tuokuu, U. Idemudia, J.S. Gruber, J. Kayira // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 222. – P. 922–933.
306. Iphar M., Alpay S. A mobile application based on multi-criteria decision-making methods for underground mining method selection // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2018. 33. № 7. C. 480–504.
307. Jian-hong, C. Optimization principle of combined surface and underground mining and its applications / CHEN Jian-hong, Gu De-sheng, LI Jian-xiong // J. CENT. SOUTH UNIV. TECHNOL. – Vol. 10, № 3. – September 2003. – P. 222-225.
308. Kasap Y., Subası E. Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process // Journal of Sustainable Mining. 2017. T.16. N2. pp. 38–46.
309. Keshavarz Ghorabae M., Zavadskas E. K., OLFAT L., Turskis Z. Multi-criteria inventory classification using a new method of evaluation based on distance from average solution (EDAS) // Informatica. 2015. 26. № 3. C. 435–451.
310. King, B. Optimizing the open pit-to-underground mining transition / B. King, M. Goycoolea, A. Newman // European Journal of Operational Research, 2016. – P. 1-13.
311. King, B. Optimizing the Open Pit-to-Underground Mining Transition / B. King, M. Goycoolea, A. Newman // Preprint submitted to Elsevier, July 9, 2016. – P. 1-33.

312. Komljenovic, D. Multi-attribute approach in selection of mining equipment/D. Komljenovic, V. Kecojevic//Surface Mining: Methods, Technologies and Systems. Vol.2 – 2013. – P. 1-28.
313. Komljenovic, D. Multi-attribute selection method for mining trucks/D. Komljenovic, V. Kecojevic//Society for mining, metallurgy, and exploration Vol.320 – 2006. – P. 94-104.
314. Kuznetsov D.V., Kosolapov A.I. Justification criteria for open pit mine depth and mining/haulage machinery parameters // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 262 (2019). P. 1-4.
315. Kursunoglu N., Onder M. Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process // Tunnelling and Underground Space Technology. 2015. N48. pp. 101–109.
316. Lashgari A., Yazdani-Chamzini A., Fouladgar M. M., Zavadskas E. K., Shafiee S., Abbate N. Equipment selection using fuzzy multi criteria decision making model: Key study of Gole Gohar Iron Min // Engineering Economics. 2012. T.23. N2. pp. 125–136.
317. Laurence D. Establishing a sustainable mining operation: an overview // Journal of Cleaner Production 19 (2011) pp. 278-284.
318. Marco de Werk. Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study/ Marco de Werk, Burak Ozdemir, Bellal Ragoub, Tyrrell Dunbrack, Mustafa Kumral //he engineering economist – 2016. – P. 1-18.
319. Mining operations policy / Document of the European bank for re-construction and development. As approved by the Board of Directors at its Meeting on 17 October 2012. 93 p.
320. Minkin A., Börsting P., Becker N.: Pipe Conveying the next Stage – A new Technology for Steep Incline High Capacity Open Pit Conveying // Bulk Solids Handling. 2016. N 2/3.
321. Mohutsiwa, M. Parametric estimation of capital costs for establishing a coal

mine: South Africa case study / M. Mohutsiwa, C. Musingwini // Journal of The Southem African Institute of Mining and Metallurgy. – August 2015 – Vol. 115. – P. 789-797.

322. Monteiro N.B., da Silva E.A., Moita Neto J.M. Sustainable development goals in mining // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 228. – P. 509–520.

323. Morteza P. A simulation-based risk management approach to locating facilities in open-pit mines under price and grade uncertainties/ P. Morteza, O. Morteza // Simulation Modelling Practice and Theory– 2018. – P. 1-25a.

324. New conveyor system transporting bulk material efficiently from open pit mines By Doppelmayr Transport Technology GmbH. 09 April 2016.

325. Newman M., Yano A., Rubio E. Mining above and below ground: timing the transition / Alexandra M. Newman, Candace A. // IIE Transactions. – 2013 (45). – P. 865-882. Paelke, J.W. Преимущество вертикальных конвейерных систем POCKETLIFT и POKETROPE / J.W. Paelke, R. Gunther, F. Kessler // Горная промышленность. – 2006. - №1, 3. – C. 44-48.

326. Osintsev N., Rakhmangulov A., Sladkowski A., Dyorina N. Logistic flow control system in green supply chains // Ecology in transport: problems and solutions. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020. T.124. pp. 311–380.

327. Pamučar D., Vasin L., & Lukovac V. Selection of railway level crossing for investing in security equipment using hybrid DEMATEL-MAIRCA. / Под ред. Dušan Stamenković, Miloš Milošević, Bane. Faculty of Mechanical Engineering. C. 89–92.

328. Pamučar D., Ćirović G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive border approximation area comparison (MABAC) // Expert Systems with Applications. 2015. 42. № 6. C. 3016–3028.

329. Paricheh, M. Determination of the optimum in-pit crusher location in open-pit mining under production and operating cost uncertainties / M. Paricheh, M. Osanloo // 16th International Conference on Computer Applications in the Mineral Industries 5-7 October 2016. – Istanbul, Turkey, 2016. CAMI -34.

330. Paricheh, M. Risk Management of Locating Primary Cruxher at the Edge of Open-Pit Mines under Price Uncertainty / M. Paricheh, M. Osanloo // Conference Paper,

August 2017.

331. Patent no. WO 2014180585 A1 and no. PCT/EP2014/054296: Tubular conveyor belt or pocket conveyor belt having a chevron profile arrangement on the carrying side thereof cross reference to related applications (ContiTech, Minkin A., 2013).
332. Patyk M., Bodziony P. Analysis of multiple criteria selection and application of APEKS method in haul truck mining transport process // E3S Web of Conferences. 2018. 00003. 2018 pp. 1–6.
333. Petit P.J. Business optimization for platinum mining projects and operations // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. T.116. N2. pp. 123–130.
334. Phlevani D., Osanloo M. Resumption of Deep Open-Pit Mining as a Future Challenge May. // Application of computers and operations research in the mineral Industry / S. Bandopadhyay. Englewood Colorado: Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc, 2015. C. 249–256.
335. Phoenix conveyor systems rise to the challenge // Mining World, 2016. – Vol. 13, Issue 2. – P. 48-49.
336. Pozynich K., Telnova S., Pozynich E. Sandwich Belt High-Angle Conveyors in Solving the Transportation Problems of Deep Open Pits // VIII International Scientific Siberian Transport Forum. Trans Siberia 2019, Volume 2, 2019. P. 110-124.
337. Rakhmangulov A, Burmistrov K, Osintsev N. Sustainable Open Pit Mining and Technical Systems: Concept, Principles, and Indicators. Sustainability. 2021; 13(3):1101
338. Queensland lifts uranium mining ban // tce, Australasia, November 2012.
339. Roberts, B. Optimising combined open and underground strategic plan / B. Roberts, T. Elkington, K. van Olden, M. Maulen // Mining Technology.– 2013. – Vol. 122, №.2. – P. 94-100.
340. Reliable and cost-effective: thissenkrupp to deliver conveyor system for new underground copper mine in Mongolia / Mining World, 2017. – Vol. 14, Issue 4. – P. 20.
341. Reza Kiani Mavi. Identification and Assessment of Logistical Factors to Evaluate a Green Supplier Using the Fuzzy Logic DEMATEL Method/ Reza Kiani Mavi,

Sajad Kazemi, Ali Fallahian Najafabadi, Hosein Bemani Mousaabadi//Pol. J. Environ. Stud. Vol. 22. – 2013. – №2 – P. 445-455.

342. Saaty T.L. The Analytical Hierarchical Process. New York: McGraw-Hill, 1980.

343. Sachin K. Patil. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers/ Sachin K. Patil, Ravi Kant// Elsevier. Expert Systems with Applications 41. – 2014. – P. 679-693.

344. Sabah Alkass. Expert System for Earthmoving Equipment Selection in Road Construction / Sabah Alkass, Member, ASCE, Frank Harris //J. Constr. Eng. Manage – 1988. – P. 426-440.

345. Samanta B., Sarkar B., Mukherjee S. K. Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision-making process // Mining Technology. 2013. T.111. N2. pp. 136–142.

346. Sinan Erzurumlu S., Erzurumlu Y. O. Sustainable mining development with community using design thinking and multi-criteria decision analysis // Resources Policy. 2015. N46. pp. 6–14.

347. Singh, V. Monitoring the performance of conveyor system using radio frequency identification in manufacturing environment: a recurrent neural network and algorithm-based approach / V. Singh, F. Sarwar, F.T.S. Chan, M.K. Tiwari // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. – 2012. – Vol. 25. – № 7. – P. 551-564.

348. Singh R. K., Kumar A., Garza-Reyes J. A., Sá M. M. de. Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity // Resources Policy. 2020. 69. № 4. C. 101752.

349. Sitorus F., Cilliers J.J., Brito-Parada P.R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends // Expert Systems with Applications. 2019. N121. pp. 393–417.

350. Shamsi, M. Nehring, M. Determination of the optimal transition point between a truck and shovel system and a semi-mobile in-pit crushing and conveying system. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2021. Vol. 121, no. 9, pp.

497–504.

351. Shen L., Muduli K., Barve A. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach // Resources Policy. 2015. N46. pp. 15–26.
352. Shi H.-q. Mine green mining // Energy Procedia. – 2012. – V.16. – P. 409–416.
353. Soofastaei A., Aminossadati S.M., Kizil M., Knights M. Reducing fuel consumption of haul trucks in surface mines using artificial intelligence models // 2016 Coal Operators' Conference. 2016. pp. 477–489.
354. Stević Ž., Pamučar D., Puška A., Chatterjee P. Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COnpromise solution (MARCOS) // Computers & Industrial Engineering. 2020. 140. C. 106231.
355. Tutton, D. The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines / D. Tutton, W. Streck // Mining Magazine congress, Niagara on the Lake, White Oaks Centre, Toronto, Canada, 2009.
356. Tobias Braun. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry /Tobias Braun, Alexander Hennig, Bernd G. Lottermoser // Elsevier. Journal of Sustainable Mining. – 2017. – P. 1-7.
357. Wang C., Tu S. Selection of an appropriate mechanized mining technical process for thin coal seam mining // Mathematical Problems in Engineering. 2015. T.2015. 10 p.
358. Wolpers F.M. Skip-conveying in opencast mines technology approach to optimize the cost and energy efficiency in hard rock mines // Gluckauf. 2013. N4. pp. 38–43.
359. Xie H., Konietzky H., Zhou H. W. Special Issue “Deep Mining // Rock Mechanics and Rock Engineering. - 2019.Vol. 52, P. 1415–1416.
360. Xuehong Zhu. Green total factor productivity of China's mining and quarrying industry: A global data envelopment analysis/ Xuehong Zhu, Ying Chen, Chao Feng// Elsevier. Resources Policy 57. – 2018. – P. 1-9.

361. Yazdani-Chamzini A. An integrated fuzzy multi criteria group decision making model for handling equipment selection // Journal of Civil Engineering and Management. 2014. T.20. N5. pp. 660–673.
362. Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Sarka V. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects // Technological and Economic Development of Economy. 1994. 1. № 3. C. 131–139.
363. Zavadskas E. K., Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making // Technological and Economic Development of Economy. 2010. 16. № 2. C. 159–172.363.
364. Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J. Optimization of weighted aggregated sum product assessment // Electronics and Electrical Engineering. 2012. 122. № 6.
365. Zeng L., Liu S. Q., Kozan E., Corry P., Masoud M. A comprehensive interdisciplinary review of mine supply chain management // Resources Policy. 2021. 74. C. 102274.
366. Zimmermann, E., Kruse, W. Mobile crushing and conveying in quarries – A chance for better and cheaper production! Proceedings of the 8th International Symposium Continuous on Surface Mining, Mainz, Aachen. RWTH Aachen University. 2006. Vol. 1. pp. 481–487.
367. Zyoud S.H., Fuchs-Hanusch D. A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques // Expert Systems with Applications. 2017. T.78. pp. 158–181.

Приложение А

Краткая характеристика разработки рудных месторождений комбинированным открыто-подземным способом

Рудник, месторождение (страна)	Глубина карьера при переходе на комбинированный способ разработки, м	Глубина подземного рудника, м
1. Принс Лайэлл (Австралия)	156м	570 м
2. ТьюктоникБор (Австралия)	158 м	300м
3.Брокен-Хилл (Австралия)	90 м	850 м
4. Эрцберг (Австрия)	682 м	-
5. Комото(Конго)	168м	618 м
6. Сидеритовая (Россия)	300м	-
7. Вишневогорское (Россия)	60 м	-
8. Жезканганское (Казахстан)	210 м	-
9.Тишинское (Казахстан)	200м	-
10.Каула-Котельваара. (Россия)	153 м	-
11. Тулукай (Россия)	256 м	-
12. Западный Каражал (Казахстан)	258 м	-
13.Тырныаузкое(Россия)	300 м	
14. Зыряновское (Россия)	305–435 м	
15. Гайское (Россия)	330м	1230 м
16.Учалинское (Россия)	336 м	650м
17. Сибайское (Россия)	500 м	-
18. Айхал (Россия)	525 м	680 м

Краткая характеристика разработки рудных месторождений подземным способом разработки

Рудник, месторождение (страна)	Глубина рудника, м
19. Удачное (Россия)	600м
20.Мир. (Россия)	525 м
21. Скалистый. (Россия)	2056 м
22.Гайский (Россия)	1600 м
23.Сарановская шахта «Рудная» (Россия)	360 м
24.АО «Богословское рудоуправление» (Россия)	900 м
25.Учалинский ГОК (Россия)	635 м
26.Октябрьское месторождение (Россия)	540 м
27. "ЮГК" (Россия)	850 м
28.Beatrix (ЮАР)	2055 м
29. Березовский рудник, Шахта Южная (Россия)	364 м
30. Березовский рудник, Шахта Северная (Россия)	612 м
31.Kloof (ЮАР)	2055 м
32.Driefontein (ЮАР)	3420 м
33.Olympic Dam (Австралия)	1000 м
34.Удачинский ГОК (Россия)	640 м
35.Diavik (Канада)	525 м

Рудник, месторождение (страна)	Глубина рудника, м
36.Jwaneng (Ботсвана)	850 м
37.Рудник Комсомольский (Россия)	3500 м
38.Шахта Чжансяолоу (Китай)	1100 м
39.Шахта Чжаогэчжуан (Китай)	1159 м
40.Шахта Ментоугоу (Китай)	1008 м
41.Шахта Суньцунь (Китай)	1501 м
42.Рудник Хуэйзэ (Китай)	1300 м
43.Медный рудник, Шоуванфэн (Китай)	1300 м
44.Медный рудник, Донгуашань (Китай)	1300 м
45.Рудник Хунтоушань (Китай)	1600 м
46.Золотой рудник Мпоненг (ЮАР)	4350 м
47.Рудник Кидд (Канада)	2800 м

Краткая характеристика разработки рудных месторождений открытым способом

Рудник, месторождение (регион, страна)	Текущая глубина карьера, м	Проектная/перспективная глубина, м
48. Калгулайе(Австралия)	500 м	-
49. Чамбиши(Замбия)	235м	-
50. Коффифонтеин (ЮАР)	240 м	-
51. Финш(ЮАР)	423м	-
52. Элен(Канада)	45м	-
53. Бран-суйк(Канада)	120 м	-
54.Фруд-Стоби(Канада)	200 м	-
55. Кидд-Криг(Канада)	231м	-
56. Флин-Флон(Канада)	84 м	-
57. Тайнагх(Ирландия)	120м	-
58. Реоцин(Испания)	236м	-
59. Бернардан (Франция)	150м	-
60. Страсса(Швеция)	70 м	-
61. Игл-Маунтайн (США)	210м	-
62. Санрайз (США)	150м	-
63. Пюхасалми (Финляндия)	120м	-
64. Енский (Россия)	72м	-
65.Миндякское (Россия)	124м	-
66.Расвумчорр (Россия)	30–95м	-
67.Высокогорское, шх. Магнетитовая (Россия)	200 м	-
68.Естюнинское, Гороблагодатское РУ(Россия)	140 м	-
69. Шалым (Россия)	110м	-
70.Камаганское(Россия)	135м	-
71. Ковдорское(Россия)	270м	660/860 м
72. Удачное, Россия, (Якутия)	600 м	630 м
73.Светлинское (Россия)	240м	312/600 м
74.Bingham Canyon (США)	1200 м	-
75.Gueicomata(Чили)	1100 м	-
76.Escondida (Чили)	645 м	-
77.Escondida (Norte)	525 м	-
78.Udarnsin (Россия)	630 м	-

Рудник, месторождение (регион, страна)	Текущая глубина карьера, м	Проектная/перспективная глубина, м
79.Muruntau (Узбекистан)	610 м	650/1000 м
80.Fimiston (Австралия)	600 м	-
81.Crasberg (Индонезия)	550 м	-
82.Betze-post (США)	500 м	-
83.Wanfen (Китай)	500 м	-
84.Aitik (Швеция)	430 м	-
85.Kalgoorlie (Австралия)	762 м	-
86. Кумтор (Киргизия)	510 м	650 м
87. Юбилейный (Россия)	320 м	630 м
88. Горевский (Россия)	130 м	720 м
89. Восточный (Россия)	450 м	710/830 м
90. Титимухта (Россия)	260 м	350 м
91. Качарское (Казахстан)	442 м	767 м
92. Лебединское (Россия)	412 м	600 м
93. Михайловское (Россия)	350 м	400 м
94. Малый Куйбас (Россия)	250 м	310/370 м
95. Киембаевское (Россия)	245 м	390 м
96. Джетыгаринское (Казахстан)	290 м	634 м
97. Михеевское (Россия)	210 м	358/538 м
98. Томинское (Россия)	100 м	540 м
99. Удоканское (Россия)	-	950 м
100. Ак-Суг (Россия)	-	700 м
101. Мир (Россия)	525 м	525 м
102. Айхал (Россия)	335 м	330 м
103. Интернациональный (Россия)	315 м	315 м
104. Сытыканский (Россия)	435 м	435 м
105. Комсомольский (Россия)	428 м	460 м
106. Нюрбинский (Россия)	410 м	562 м
107. Ботубинский (Россия)	158 м	580 м

Приложение Б



РОССИЯ 462414 ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ
ОРСК, ПОС. КРУТОРОЖИНО, ГАЙСКОЕ ШОССЕ, 10
ТЕЛЕФОН/ФАКС: (3537) 28-73-58, 28-72-97, 28-73-00
E-mail: priemoky@oky56.ru <http://www.oky56.ru>
ИНН 5615002820 КПП 561350001



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Бурмистрова К.В.
«Обоснование параметров системы вскрытия карьеров в переходные периоды
разработки месторождений»
на ОАО «Орское карьерауправление»

1. Перечень внедренных решений

Технология и последовательность формирования системы вскрытия карьеров

2. Новизна решения

Разработана технология формирования совмещенной системы вскрытия карьеров Крутогоржинского и Северо-Крутогоржинского месторождений. Была разработана система вскрытия с частично зависимой во времени и пространстве схемой вскрытия двух карьеров, которая по мере развития трансформируется в независимую схему. Предложен к реализации вариант схемы вскрытия, характеризующийся самым низким объемом вскрышных работ и возможностью размещения вскрыши на уже существующем отвале в течение трех лет. Внедрение технических решений позволяет сократить объемы горно-капитальных работ и оптимизировать транспортную работу при транспортировании вскрышных пород и полезного ископаемого путем частичного использования существующей схемы вскрытия Крутогоржинского карьера для развития и функционирования схемы вскрытия Северо-Крутогоржинского карьера.

3. Место внедрения

Круторожинский и Северо-Круторожинский карьеры (ОАО «Орское карьерауправление»)

4. Продолжительность использования внедренных решений

Начало внедрения совместной схемы вскрытия карьеров в 2017 г.

Продолжительность работ по формированию и эксплуатации системы вскрытия составляет более 50 лет.

5. Техническая и экономическая эффективность

Предлагаемый вариант системы вскрытия и развития горных работ на карьерах позволит сократить срок строительства карьера на Северо-Круторожинском месторождении на 0,4 года, обеспечить функционирование карьера в течение трех лет без формирования нового отвала вскрышных пород, сократить объем горнокапитальных работ и транспортную работу в период эксплуатации месторождения.

Суммарный экономический эффект от реализации предлагаемого варианта системы вскрытия на карьерах Круторожинского и Северо-Круторожинского месторождений составит 324,13 млн. руб.

Приложение В

Рәсәй ФЕДЕРАЦИЯ НЫ
БАШКОРТОСТАН РЕСПУБЛИКА НЫ
ЯУАПЛЫЛЫГЫ СИКЛӘНГӘН
ЙӘМГИӘТ
«БАШКОРТ БАКЫРЫ»

453803, Рәсәй Федерацияны, Башкортостан
Республиканы, муниципаль район Хайбулла районы,
Петропавловский ауылы, Юбилей урамы, 9/1

Тел./факс: (34758) 2-47-03, (34775) 2-40-55, e-mail: bashmed@ufamts.ru, <http://башкирскаямедь.рф/>
ОКПО 77833822, ОГРН 1050202126622, ИНН / КПП 0267011229 / 025250001



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«БАШКИРСКАЯ МЕДЬ»

453803, Российская Федерация, Республика
Башкортостан, муниципальный район Хайбуллинский
район, д. Петропавловский, ул. Юбилейная, 9/1

Исх. № _____ от _____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Технический директор

ООО «Башкирская медь»

Д. Е. Бодренков А.Е. Бодренков

« _____ » 2019 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Бурмистрова К.В.
«Обоснование параметров системы вскрытия карьеров в переходные периоды
разработки месторождений»
на ООО «Башкирская медь»

1. Перечень внедренных решений

Конструкция системы вскрытия карьера

2. Новизна решения

Разработана конструкция системы вскрытия, предусматривающая формирование съезда на западном борту карьера. Произведено обоснование его параметров, а также применяемого вида и типа транспорта, обеспечивающего

005678

транспортный доступ ко дну карьера. Формирование съезда предусматривается путем частичной врезки в борт карьера и подсыпки отдельных участков между отм. + 270 м, на которой размещен портал наклонного съезда строящегося «Юбилейного» подземного рудника и отм. +90 м соответствующей проектной отметке дна карьера. Данные решения направлены на обеспечение эффективности и безопасности функционирования карьера и подземного рудника. Размещение системы транспортных съездов только на западном борту позволит отказаться от использования участка карьерной автодороги восточного борта карьера. При этом транспортная берма, расположенная на восточном борту карьера, не будет использоваться и поддерживаться. Таким образом, при реализации предлагаемых решений восточный борт карьера не разносится, так как по нему не предусматривается движение транспортных средств и на его площадках не планируется размещение оборудования.

3. Место внедрения

Карьер «Юбилейный» (ООО «Башкирская медь»)

4. Продолжительность использования внедренных решений

Начало внедрения предлагаемой системы вскрытия карьера в 2019 г.

Продолжительность эксплуатации системы – до окончания первого этапа разработки месторождения подземным способом.

5. Техническая и экономическая эффективность

Предлагаемый вариант системы вскрытия позволит отказаться от использования участка карьерной автодороги восточного борта карьера и соответственно от необходимости выполнения работ по разносу борта карьера в объеме 2,58 млн. м³.

Суммарный экономический эффект от реализации предлагаемой конструкции системы вскрытия на карьере Юбилейный составит 338 784,96 тыс. руб.