

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)

Автореферат

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

Магнитогорск 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный консультант доктор технических наук, профессор,
Гавришев Сергей Евгеньевич

Официальные оппоненты: **Галкин Владимир Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник научно-исследовательского института эффективности и безопасности горного производства (ООО «НИИОГР»), г. Челябинск

Корнилов Сергей Викторович,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург

Лель Юрий Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Защита диссертации состоится «6» июля 2022 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова») по адресу: 455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ауд. 233.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»: <http://www.magtu.ru>.

Автореферат разослан « »

2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 циклической 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.

Цель 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: 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.

Задачи исследования:

- 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, обрабатывающих крутопадающие месторождения;
- разработка технологических схем вскрытия законтурных запасов, обеспечивающих увеличение объемов руды, обрабатываемых 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.

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,

включающий: 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 циклического 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), обрабатывающих 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 перегру-

зочного пункта.

5. Вскрытие глубоких горизонтов карьера при переходе к открыто-подземному способу доработки законтурных запасов 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.

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, отличающийся 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.

Достоверность результатов обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных и апробацией результатов исследований на действующих карьерах; соответствием 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; апробацией 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.

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 выводов и рекомендаций. 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 карьероуправление» 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 ра-

бот), «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 карьероуправление», ОАО «Белсталь»; научно-технических семинарах докторантов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (Магнитогорск, 2015-2019 гг.), на научных семинарах НИИИОГР (Челябинск, 2016-2022 гг.), ИП-КОН РАН (Москва, 2022 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 48 научных работах, из них: 16 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 13 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 12 – в прочих изданиях; 3 учебных пособия и 2 монографии, а также зарегистрирована 1 программа для ЭВМ и получен 1 патент.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 340 страницах машинописного текста, содержит 58 таблиц, 158 рисунков, список использованной литературы из 367 наименований и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ условий функционирования горнодобывающих предприятий в современных условиях и рассмотрены перспективы освоения крутопадающих месторождений. Определено, что тенденция снижения содержания полезных компонентов в добываемых рудах, сопровождающаяся увеличением текущих и проектных значений глубин разработки месторождений, сохранится на обозримую перспективу. С ростом глубины ведения гор-

ных работ усложняется вскрытие запасов глубоких горизонтов и создание транспортного доступа к полезному ископаемому, увеличиваются затраты на производство основных технологических процессов горных работ, особенно возрастают затраты на процесс транспортирования горной массы. Научно-методическая база проблем вскрытия карьерных полей и повышения эффективности карьерного транспорта развивалась в трудах академиков Мельникова Н.В., Мельникова Н.Н., Ржевского В.В., член-корреспондента Яковлева В.Л., профессоров Анистратова Ю.И., Анистратова К.Ю., 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., Колесникова В.Ф., Кулешова А.А., Кулешова Н.А., Лель Ю.И., Новожилова М.Г., Потапова М.Г., Размыслова Ю.С., Решетняка С.П., Смирнова В.П., Спиваковского А.О., Супрун В.И., Фадеева Б.В., Ханзина М.Л., Четверика М.С., Шешко Е.Ф., Шилина А.Н., Шпанского О.В., Щелканова В.А., Юматова Б.П. и других ученых. Были разработаны и классифицированы основные способы и схемы вскрытия в зависимости от горнотехнических условий разработки месторождений, установлены основные принципы формирования карьерных грузопотоков на горнодобывающем предприятии, определены условия применения различных видов карьерного транспорта. Определено, что вскрытие месторождения в значительной степени определяет эффективность его разработки в целом, поэтому при проектировании границ разработки крутопадающих месторождений как открытым, так и подземным способами, данному вопросу уделяется особое внимание. На основе обобщения научных исследований определено, что к глубоким относятся карьеры и горизонты при глубине ведения горных работ более 200-250 м. Отмечается перспективность использования циклично-поточной технологии транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьеров.

С ростом глубины карьеров, при доработке очередного этапа открытого способа разработки, возникает необходимость сложного выбора дальнейшей стратегии развития предприятия путем оптимизации схемы вскрытия и перехода на новый этап открытых горных работ, на открыто-подземный или подземный способ разработки. Вопросами обоснования параметров горнотехнических систем при открытом и комбинированном открыто-подземном способах разработки месторождений занимались академики Агошков М.И., Трубецкой К.Н., член-корреспонденты Каплунов Д.Р., Пешков А.А., профессора Андросов А.Д., Воронюк А.С., Голик В.И., Истомин В.В., Калмыков В.Н., Коваленко В.С., Корнилков С.В., Косолапов А.И., Мельник В.В., Пикалов В.А., Рыльникова М.В., Савич И.Н., Саканцев Г.Г., Саканцев М.Г., Славиковский О.В., Соколов И.В., Соколовский А.В., Федотенко В.С., Фомин С.И., Холодняков Г.А., Хохряков В.С., Хронин В.В., Щелканов В.А. и другие ученые.

В выполненных исследованиях доказана целесообразность этапного вскрытия и освоения крупных крутопадающих рудных месторождений. При переходе от открытой к открыто-подземной разработке месторождения отмечается целесообразность проектирования единой схемы вскрытия карьера и под-

земного рудника, которая реализуется путем вписывания схемы вскрытия подземного рудника в существующую схему вскрытия карьера. В процессе освоения крутопадающих рудных месторождений реализуются различные способы разработки и варианты вскрытия. На рис. 1 представлены результаты анализа теоретических исследований, практики разработки месторождений и проектных решений для более 100 отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятий.

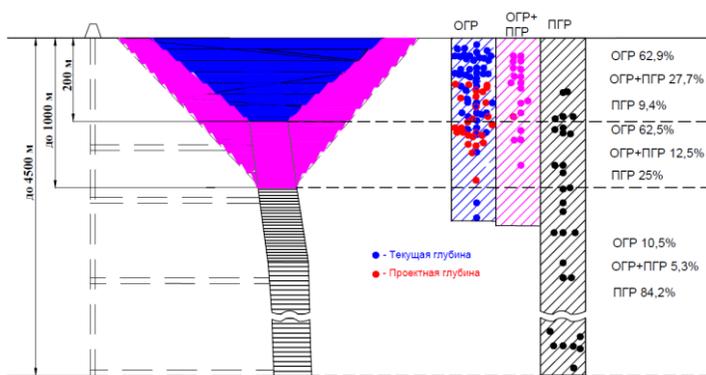


Рисунок 1 – Доля горнодобывающих предприятий с открытым (ОГР), подземным (ПГР) и комбинированным (ОГР+ПГР) способами разработки в соответствии с глубиной ведения горных работ

На глубинах до 200 м преимущественно используется открытый способ разработки и вскрытие наклонными траншеями с использованием автомобильного транспорта; в диапазоне глубин от 200 до 1000 м применяется открытый, открыто-подземный и подземный способы разработки и реализуются варианты вскрытия наклонными, крутыми траншеями и подземными выработками с перемещением пород средствами циклического и циклично-поточного транспорта; при глубине более 1000 м используется подземный способ добычи, вскрытие производится наклонными и вертикальными подземными выработками.

В результате выполненного анализа определено, что для многих горнодобывающих предприятий, разрабатывающих крутопадающие месторождения, развитие горнотехнических систем в диапазоне глубин от 200 до 1000 м является перспективным, при этом на отдельных этапах разработки могут применяться различные варианты вскрытия и транспортного обеспечения.

Условиями выбора вариантов вскрытия глубоких горизонтов карьеров, вида и моделей карьерного транспорта должны быть: сокращение затрат на разработку месторождения, снижение негативного воздействия от горных работ на окружающую среду, улучшение условий работы персонала на больших глубинах. Для учета перечисленных условий необходим системный подход, который позволит осуществлять выбор целесообразной стратегии освоения

месторождения, с учетом широкого набора влияющих факторов, и повышать эффективность функционирования горнотехнических систем.

Во второй главе диссертации получили развитие методологические основы обоснования параметров системы вскрытия карьеров, определения ее роли в структуре горнотехнической системы при разработке крутопадающих рудных месторождений.

С ростом глубины ведения открытых горных работ возрастает влияние места размещения вскрываемых выработок на борту карьера и их параметров на величину угла нерабочего борта карьера, что приводит изменению объемов вскрышных работ в соответствии с глубиной карьера при принятой схеме вскрытия. Для определения влияния схемы вскрытия на изменение объемов вскрышных пород в карьере, были выполнены: моделирование параметров карьеров различной глубины с транспортными коммуникациями и без и горно-геометрический анализ (рис. 2). Для рассматриваемых карьеров, отрабатывающих крутопадающие месторождения, определено: объемы вскрышных работ в зависимости от схемы вскрытия могут изменяться до 35%; количество транспортного оборудования в 1,1-3,7 раза превышает количество всех остальных видов оборудования по основным технологическим процессам; капитальные затраты на формирование транспортного комплекса составляют до 50%; эксплуатационные расходы достигают 70 % от общих затрат на разработку; на долю карьерных автосамосвалов приходится от 60 до 75% объема выбросов загрязняющих веществ.

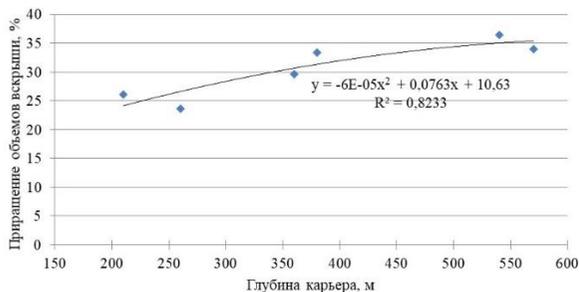


Рисунок 2 – Изменение объемов вскрышных работ в соответствии с глубиной карьера и принятой схемой вскрытия

Технический прогресс в области карьерного транспортного оборудования, возрастающее количество поставщиков карьерной техники, расширяющийся модельный ряд автосамосвалов, позволяют осуществлять выбор между значительным количеством вариантов компоновки транспортного комплекса карьера: разница в грузоподъемности применяемых на одном карьере автосамосвалов достигает 5 раз, расчетная ширина транспортной бермы - 1,5-3 раза, глубина ввода и углы наклона подъемников на различных карьерах отличаются в 2-4 раза; количество автосамосвалов для различных вариантов компоновки транспортного комплекса – до 10 раз. Данные обстоятельства приводят к увеличению числа возможных вариантов компоновки транспортного комплекса карьера

ров и усложняют задачи выбора карьерного транспорта и обоснования параметров схемы вскрытия.

В период эксплуатации карьера на первом этапе один карьерный экскаватор обслуживают, как правило, не менее 3-4 автосамосвалов, а на последующих этапах, при производстве горных работ на глубоких горизонтах, – до 10 автосамосвалов и более. Внедрение циклично-поточной технологии позволяет уменьшить количество автосамосвалов на карьерах, при этом доля автомобильного транспорта в общей транспортной цепи остается достаточно высокой. Для каждого используемого экскаватора могут применяться несколько моделей автосамосвалов различной грузоподъемности. Для принятого автосамосвала проектируются транспортные бермы, параметры которых также различаются. Из данных, приведенных на рис. 3, следует, что для экскаваторов с вместимостью ковша 12-15 м³ проектные параметры вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, в зависимости от принятой модели самосвала, отличаются в 1,5-2 раза. Каждый класс самосвалов по грузоподъемности представлен различными производителями, с отличающимися габаритными размерами. Расчеты, выполненные с использованием разработанного комплекса «Программа автоматизированного расчета параметров карьерных транспортных коммуникаций и объемов дополнительного развоза борта карьера для разных типов автосамосвалов», показали, что необходимая проектная ширина транспортных берм в одном классе отличается на 5-20%, а разница объемы вскрышных пород, в зависимости от конструкций бортов карьера с транспортными бермами разной ширины, достигают 10% в зависимости от глубины карьеров. Вышесказанное свидетельствует о наличии сложной взаимосвязи и необходимости многокритериального подхода к обоснованию параметров вскрытия и транспортирования горной массы.

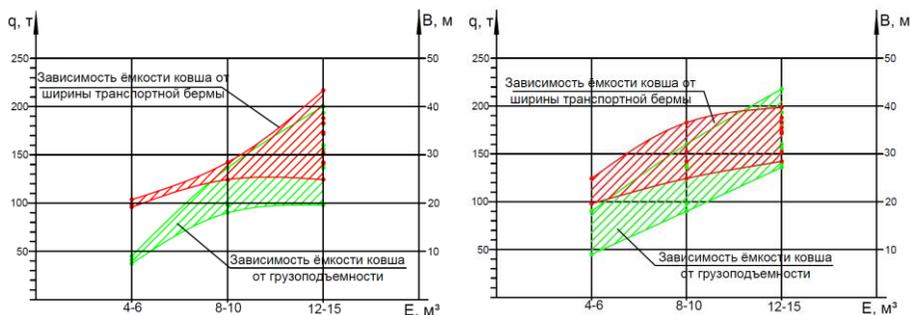


Рисунок 3 – Зависимость грузоподъемности автосамосвалов (q) и ширины вскрывающих выработок (B) от вместимости ковша экскаваторов (E):
 а) плотность разрабатываемых пород $2,7 \text{ т/м}^3$; б) плотность разрабатываемых руд $3,5 \text{ т/м}^3$

Обоснование наиболее целесообразного для конкретных условий варианта

вскрытия и вида транспорта является одной из самых сложных и многовариантных задач при выборе стратегии развития, как при открытом, так и при подземном способе разработки месторождений. В качестве возможных стратегий развития горнотехнической системы (ГТС) для условий глубоких горизонтов рассматривались: изменение параметров вскрытия в течение проектного периода эксплуатации карьера, переход на новый этап открытых горных работ или на открыто-подземный способ разработки, на использование сформированных техногенных георесурсов не связанное с добычей руды. В периоды перехода к очередной стратегии снижается устойчивость функционирования предприятия, что вызвано возрастающими затратами на разработку, снижением производительности по руде, вплоть до временной остановки добычных работ, возрастающими объемами вскрышных работ на формирование новой схемы вскрытия. В диссертационной работе предлагается подход, при котором вопросы, связанные с выбором карьерного транспорта и обоснованием способа и схемы вскрытия, будут рассматриваться в рамках системы вскрытия, как подсистемы ГТС, что позволит комплексно решать задачи выбора стратегии развития и обеспечения устойчивости функционирования горнотехнических систем на различных этапах разработки месторождений.

Под *системой вскрытия* предлагается понимать подсистему горнотехнической системы, предназначенную для обеспечения доступа к месторождению или его локальному участку, формирования и реализации грузопотоков полезного ископаемого, вскрышных пород, оборудования и материалов, состоящую из вскрывающих выработок, транспортных средств и устройств, внутрикарьерных пунктов перегрузки горной массы.

В зависимости от целей исследования, горнотехническая система может рассматриваться как совокупность различных подсистем. В то же время технологические параметры ГТС в процессе добычи полезного ископаемого определяются принятыми системой разработки и системой вскрытия, которые являются взаимосвязанными. Такие подсистемы, как техническая, технологическая, организационная и вспомогательные, являются не только взаимосвязанными друг с другом, с системами вскрытия и разработки, но и имеющими общие элементы. Структура горнотехнической системы, как совокупность составляющих ее подсистем, представлена на рис. 4.

Система вскрытия может функционировать в неизменном виде в течение одного или нескольких этапов разработки, либо неоднократно пересматриваться в течение одного этапа при техническом перевооружении карьерного транспорта. С увеличением глубины карьеров затраты на формирование схемы вскрытия и обеспечение грузооборота горной массы возрастают и определяют целесообразность перехода на новый этап, путем изменения элементов и параметров системы вскрытия. Продолжительность каждого этапа вскрытия характеризуется неизменными параметрами и должна определяться не только длительностью проектного этапа разработки, но и технологическими и экономическими показателями функционирования карьерного транспорта. При этом ми-

нимальная продолжительность этапа должна соответствовать сроку окупаемости транспортного комплекса, а максимальная – в зависимости от продолжительности и последовательности реализации стратегий развития горнотехнической системы.

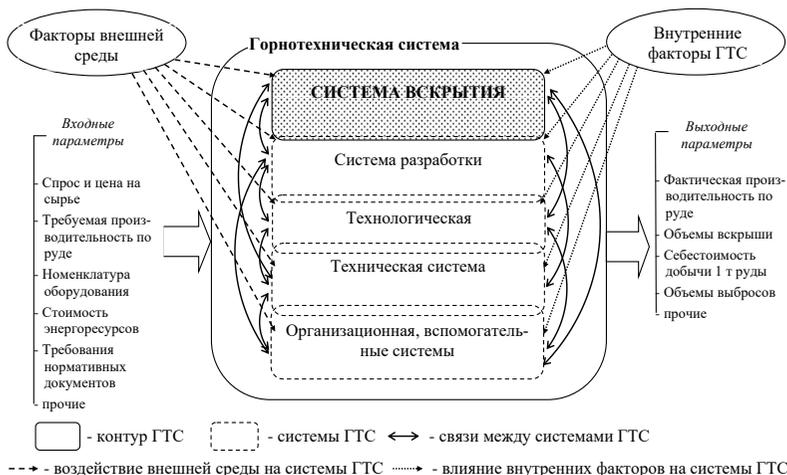


Рисунок 4 – Подсистема вскрытия в структуре ГТС

Выбор определенной стратегии развития горнотехнической системы на планируемый этап разработки сопровождается изменением системы вскрытия. Поэтому необходима разработка методики комплексной оценки системы вскрытия, позволяющей определять эффективность рассматриваемой стратегии с учетом особенности каждого этапа разработки.

Учитывая практику эксплуатации, реконструкции системы вскрытия на действующих предприятиях и анализ научных трудов, посвященных вопросам эффективности эксплуатации карьерного транспорта, разработке оптимальных вариантов схем вскрытия, обеспечения устойчивости и эффективности развития систем, в работе выполнена систематизация параметров системы вскрытия, влияющих на развитие горнотехнической системы. В основу систематизации положен функциональный подход с выделением следующих факторов: технические, технологические, экономические, социальные и экологические. Предлагается двухуровневая оценка факторов с использованием 8 групп и 23 параметров (табл. 1). 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.

Предлагаемая система параметров позволяет выполнять комплексную оценку системы вскрытия с учетом значительного количества влияющих факторов обеспечивающих требуемые показатели устойчивости функционирования

ния ГТС.

Таблица 1 - Совокупность параметров оценки системы вскрытия

Факторы	Группа параметров (1 уровень)		Параметры (2 уровень)	
	T	Вид транспорта	C1	Один вид
			Комбинированный транспорт	C1.2
Tx	Производительность транспортного комплекса	C2	Количество транспортных средств	C2.1
			Производительность транспортного средства	C2.2
			Количество перегрузочных пунктов в карьере	C2.3
			Производительность перегрузочного пункта	C2.4
	Приведенная транспортная работа	C3	Расстояние транспортирования	C3.1
			Высота подъема горной массы	C3.2
			Объем перевозок	C3.3
Объем вскрываемых выработок	C4	Глубина вскрываемой части карьера	C4.1	
		Ширина (сечение) выработки	C4.2	
		Протяженность (уклон) выработки	C4.3	
Э	Период использования системы вскрытия	C5	Продолжительность формирования системы вскрытия	C5.1
			Продолжительность этапа разработки	C5.2
			Число этапов разработки	C5.3
	Экономическая эффективность	C6	Капитальные затраты	C6.1
			Эксплуатационные затраты	C6.2
			Совокупный доход	C6.3
C	Социальная эффективность	C7	Рост производительности труда	C7.1
			Условия работы персонала	C7.2
			Уровень автоматизации и роботизации процесса транспортирования	C7.3
Эк	Экологическая эффективность	C8	Объемы выбросов загрязняющих веществ	C8.1
			Объем образующихся отходов	C8.2

T-технические, Tx-технологические, Э-экономические, C-социальные, Эк-экологические

Рассматриваемые параметры оцениваются качественными и количественными значениями, оказывают различное влияние на конечный результат и имеют отличающиеся цели. Поэтому необходима разработка комплексного критерия и метода оценки, позволяющих учитывать данные особенности.

В третьей главе обоснованы критерий оценки эффективности системы вскрытия и многокритериальный метод принятия решений по выбору стратегии развития горнотехнической системы.

Оценку системы вскрытия, а также выбор стратегии освоения крутопадающих месторождений предлагается производить с использованием комплексного критерия эффективности, в качестве которого использовался ранговый коэффициент, позволяющий учитывать большое количество параметров, качественную и количественную величину, а также целевую функцию каждого параметра. В общем виде разработанный критерий имеет следующий вид:

$$K_{эсв} = f(x_{ij}; w_j; k_i) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где x_{ij} – значение оценки i -й альтернативы по j -му критерию для всех па-

раметров системы вскрытия; i – влияющий параметр; w_j – весовой коэффициент параметра; k_i – полезность альтернатив.

Для перевода качественных значений параметров в количественные в настоящей работе использована треугольная функция принадлежности. Ранжирование параметров, путем определения весовых коэффициентов для каждого из них, предлагается производить с использованием нечеткого метода анализа иерархий (Fuzzy-АНР).

$$W_j = \sum_{i=1}^n (w_1, w_2, \dots, w_n) = 1. \quad (2)$$

Для выбора альтернативы развития ГТС на основе оценки системы вскрытия сформирована матрица принятия решения, которая выглядит следующим образом:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ A_1 & \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \\ A_2 & \\ \vdots & \\ A_m & \end{matrix}, \quad (3)$$

где A_i – стратегия развития ГТС; i – альтернативные варианты, $i = 1, 2, \dots, m$; C_j – параметр системы вскрытия; j – величина параметра, $j = 1, 2, \dots, n$; W_j – весовые коэффициенты параметров.

Оценка значимости параметров системы вскрытия проводилась экспертным методом с привлечением академических экспертов и экспертов горнодобывающих производств. Путем анкетирования была выполнена оценка параметров системы вскрытия с использованием лингвистических переменных и треугольных нечетких чисел. По результатам оценки экспертов составлены матрицы нечетких агрегированных оценок параметров системы вскрытия. Результаты расчетов показаны на рис. 5, 6.

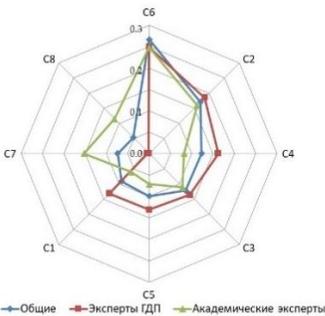


Рисунок 5 - Ранжирование групп параметров системы вскрытия

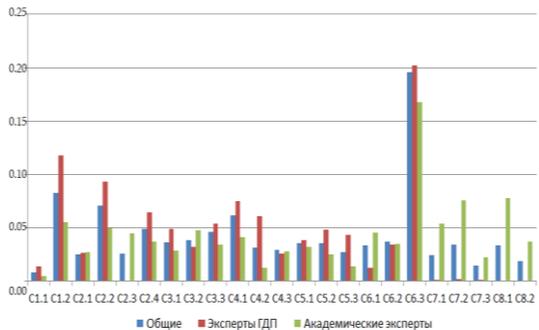


Рисунок 6 - Ранжирование параметров системы вскрытия

Наличие большого количества влияющих параметров, имеющих различные целевые значения, стремящиеся к максимально, либо минимально возможным, сложность оценки ряда параметров количественными значениями предопределили необходимость применения комбинированных многокритериальных нечетких методов для выбора целесообразного варианта вскрытия для соответствующей стратегии развития ГТС. В ходе выполнения исследований были апробированы различные методы. Для дальнейших исследований был выбран метод MARCOS, который соответствует поставленным условиям решения задачи. Последовательность выполнения расчетов рангового коэффициента, с учетом использованных многокритериальных методов, представлена на рис. 7.



Рисунок 7 – Блок-схема расчета рангового коэффициента

Для каждого параметра системы вскрытия были определены эталонные условия в соответствии с установленными целями. При этом определено, что наилучшие значения по технологическим, экономическим, экологическим и социальным параметрам системы вскрытия, для условий глубоких горизонтов рудных месторождений, могут быть достигнуты при расширении области использования карьерных подъемников путем эффективной реализации циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования горных пород.

Эффективность применения ЦПТ во многом будет определяться временем начала ее применения, глубиной расположения перегрузочных пунктов подъ-

емников в карьерах и планируемой продолжительностью их использования.

В четвертой главе приведены результаты исследований по разработке технологических решений, предусматривающих изменение системы вскрытия глубоких горизонтов с ЦПТ для рассматриваемых вариантов стратегии развития ГТС.

Реализация вариантов вскрытия с ЦПТ на карьерах позволяет сократить количество автосамосвалов до 80% и объемы выбросов загрязняющих веществ в зависимости от глубины расположения перегрузочного пункта. Наибольшее сокращение количества автосамосвалов достигается при расположении перегрузочных пунктов в нижней части карьера. При этом технологические решения по формированию схем с ЦПТ отличаются в зависимости от типа и горно-технических условий разрабатываемых месторождений. Для мощных рудных месторождений характерна высокая производительность по полезному ископаемому, поэтому карьерные подъемники в первую очередь предусматривают для доставки руды; для месторождений средней и малой мощности характерна высокая производительность по вскрыше, что предполагает реализацию доставки вскрыши на поверхность средствами циклично-поточного транспорта.

Технологические решения по развитию ЦПТ для мощных крутопадающих месторождений с низким содержанием полезного компонента рассмотрены на примере Михеевского карьера. При годовых объемах добычи руды, достигающих 33,0 млн.т и высокой динамике горных работ развитие поточного транспорта при вскрытии и разработке глубоких горизонтов карьера позволит сократить долю автотранспортной откатки и снизить затраты на транспортирование горной массы. В настоящее время глубина расположения перегрузочного пункта составляет 60 м, при текущей глубине карьера около 200 м и проектной 540 м. С понижением горных работ эффективность ЦПТ снижается из-за возрастающей доли перевозок автотранспортом. Для ускоренного перемещения перегрузочного пункта при обеспечении проектной производительности по руде необходимо сместить направление развития фронта работ для отработки участка борта карьера, на котором предполагается развитие конвейера. При изменении направления развития, с сохранением равномерного формирования рабочей зоны карьера, в определенный промежуток времени количество рабочих уступов возрастает до 23 (рис. 8 а). Сложность формирования ВНБ, в условиях высокой производственной мощности карьера и динамики развития горных работ, усиливается 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 при добыче руды в течение года на 4-6 уступах, потребуется поддерживать в работе до 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. Были рассмотрены варианты разви-

тия рудного конвейера путем увеличения его протяженности и перемещения перегрузочного пункта глубже, а также реализация ЦПТ для перемещения вскрышных пород. Для сокращения количества рабочих площадок и увеличения концентрации горных работ был рассмотрен вариант перехода на высокоуступную технологию, путем сдваивания рабочих уступов (рис. 8 б).

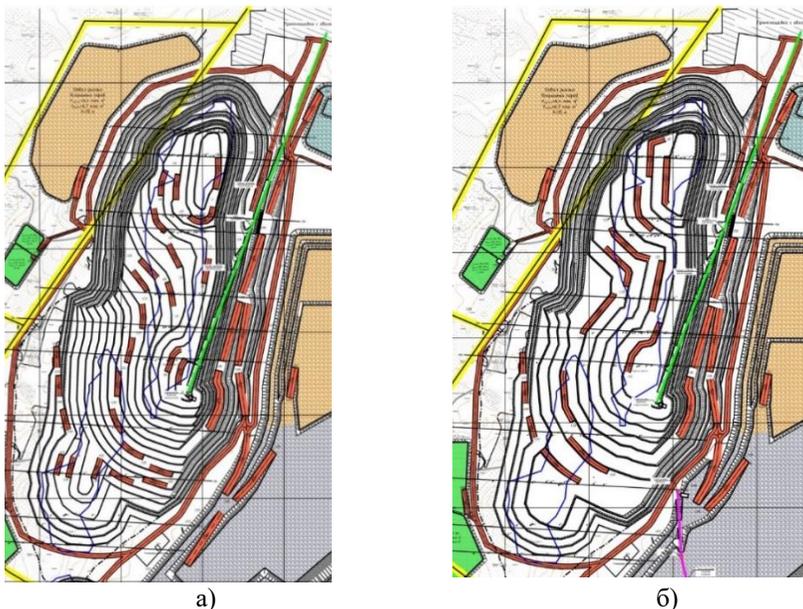


Рисунок 8 – Варианты развития горных работ в карьере: а – рабочие уступы высотой 15 м; б – сдвоенные рабочие уступы, высотой до 30 м

Были разработаны 6 вариантов развития системы вскрытия: 1 вариант предполагал использование только автомобильного транспорта; 2 вариант – развитие по существующему проекту; 3 вариант – развитие рудного конвейера, путем строительства дополнительной крутонаклонной секции подъемника; вариант 4 – развитие рудного конвейера с параллельным размещением на данном участке борта карьера породного конвейера; 5 - развитие наклонного конвейера в продолжение к существующему, этот вариант размещения конвейера соответствует проектному, однако принятое направление развития горных работ и технологии формирования и отработки уступов позволяет на срок до 5 лет ускорить начало работы конвейера; 6 - отличается от пятого наличием породного конвейера с перегрузочным пунктом на поверхности.

Для определения целесообразного шага переноса перегрузочного пункта были выполнены расчеты величины приведенной транспортной работы на основе обработки данных хронометражных наблюдений и информации систем диспетчеризации АСУП. При этом учитывалось, что в условиях глубоких гори-

зонтов, самосвалы, доставляющую руду к дробильно-конвейерному перегрузочному пункту (ДКК) с разных горизонтов, направляются гружеными 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. 9. Анализ зависимости показывает, 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 тенденции применения аналогичных самосвалов на глубоких горизонтах карьеров. Продолжительность функционирования системы вскрытия до переноса перегрузочного пункта соответствует продолжительности этапа вскрытия.

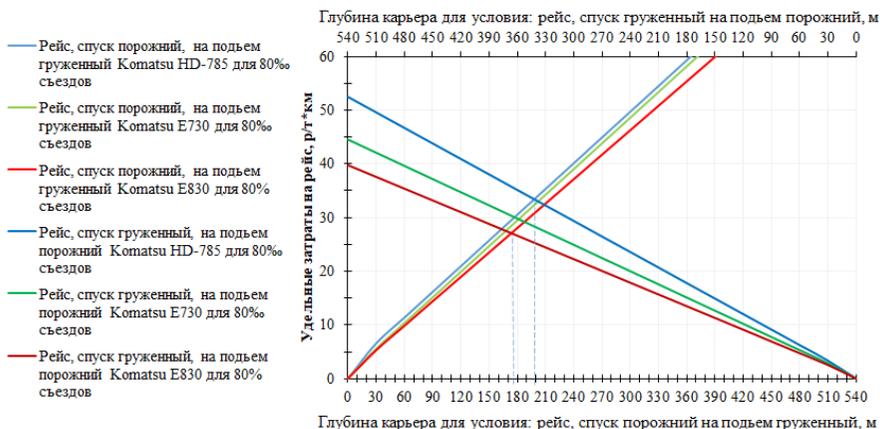


Рисунок 9 – График изменения транспортной работы при доставке горной массы к ДКК для определения шага передвижки перегрузочного пункта

Отработка Михеевского месторождения предполагается в несколько этапов, т.к. при имеющихся запасах и принятой производительности срок отработки составит более 30 лет с перспективой прироста запасов месторождения. Особенностью предлагаемой технологии является развитие ЦПТ не только на текущий этап отработки, но и на перспективный последующий этап. При равномерном развитии горных работ в карьере перенос перегрузочного пункта на планируемую глубину возможен через 14-16 лет. Для предлагаемой технологии отработки уступов и развития горных работ в карьере минимальный срок до начала эксплуатации новых перегрузочных пунктов по рассматриваемым вариантам составляет 9-10 лет. При этом данный срок на 5-7 лет меньше, чем при равномерном развитии работ в карьере, что позволит эффективно доработать текущий этап и использовать данную систему вскрытия на последующем этапе разработки.

Выполненные исследования показали, что для предлагаемых вариантов развития ЦПТ доля транспортной работы, выполняемой поточным транспортом, достигает 60% и более (рис. 10). Это позволяет значительно снизить грузооборот автотранспортом, что положительно влияет на устойчивость функционирования системы вскрытия и горнотехнической системы в целом.

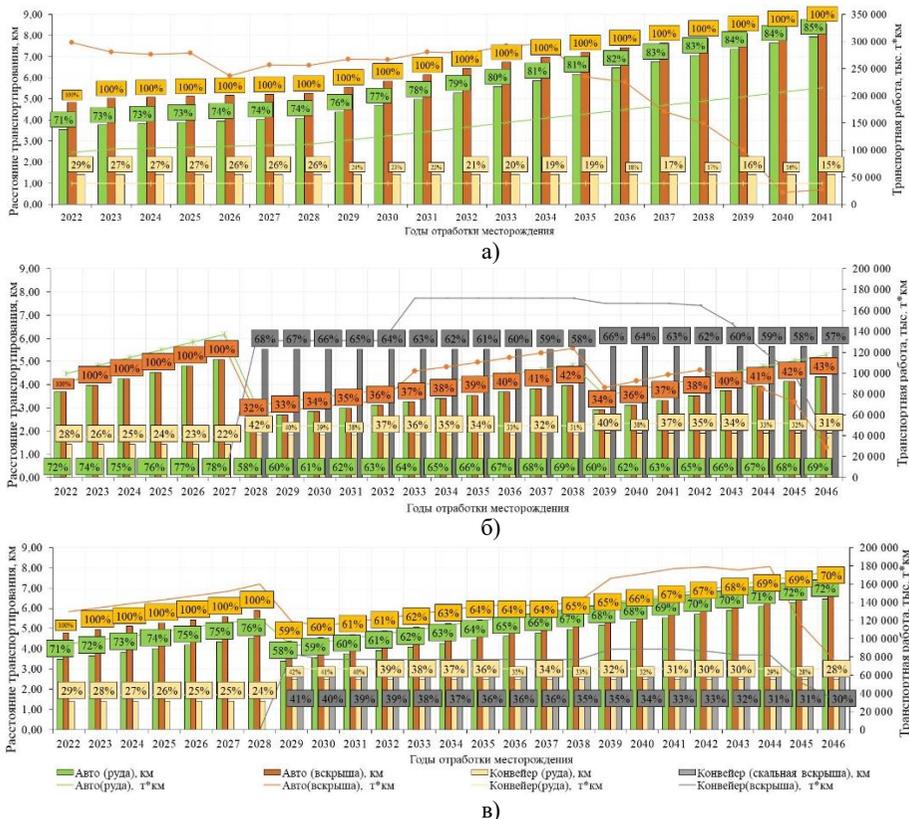


Рисунок 10 – Зависимости изменения параметров системы вскрытия и динамики грузооборота по годам для рассматриваемых вариантов:
 а) варианты 1,2; б) варианты 3,4; в) варианты 5,6

Разработанные решения по переходу на высокоуступную технологию для развития систем вскрытия с ЦПТ позволили, при изменении направления продвижения фронта и более интенсивной отработке отдельных вскрышных участков, также обеспечить более равномерное распределение объемов вскрышных пород, стабильное количество горнотранспортного оборудования в карьере и лучшие экономические показатели не только в текущем, но и последующем этапе разработки. Особенности месторождений, аналогичных Михеевскому,

является необходимость поддержания высокой производительности по руде из-за низкого содержания полезного компонента. Поэтому ближайшая перспектива освоения таких месторождений направлена на реализации стратегий, связанных с открытым способом разработки.

Для условий разработки крутопадающих залежей средней и малой мощности на глубоких горизонтах осуществляется выбор целесообразной стратегии перехода на комбинированный способ отработки запасов за проектным контуром карьера. Развитие системы вскрытия с ЦПТ в таких условиях также позволяет повысить эффективность и устойчивость функционирования ГТС при учете особенностей перехода к данной стратегии.

Существующие подходы к вскрытию законтурных запасов с использованием выработок, пройденных из карьера, предполагают перемещение рудной массы по карьерным транспортным коммуникациям автосамосвалами. Данный способ характеризуется самыми высокими эксплуатационными затратами, так как использование карьерных самосвалов при доставке горной массы с глубоких горизонтов является малоэффективным. Снижение эксплуатационных затрат возможно путем использования ЦПТ доставки рудной массы с адаптацией карьерного подъемника под условия подземного рудника. Регулирование режима работы карьерных подъемников на этапе подземной разработки осуществляется сокращением времени их использования, путем формирования и применения накопительного рудного склада.

Для определения влияния глубины расположения перегрузочного пункта в карьере на эффективность применения схем с ЦПТ при открыто-подземном способе разработки получены зависимости затрат на добычу 1 т руды от производственной мощности рудника и параметров системы вскрытия (рис. 11).

На рис. 11 рассмотрены следующие варианты перемещения руды на поверхность: 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 → скиповой подъемник в вертикальном стволе.

Представленные на рис. 11а результаты показывают, что 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. 11. в, г). Чем ближе ко дну карьера располагается перегрузочный пункт, тем эффективнее применение системы вскрытия с ЦПТ в карьере. 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. 11 б) транспортирование руды целесообразно по карьерному подъемнику при вскрытии штольной с борта карьера.

Для реализации вариантов системы вскрытия с ЦПТ при открыто-

подземном способе разработки требуются технологические решения, позволяющие сформировать перегрузочный пункт и накопительный склад в пространстве карьера. При условии, что изначально система вскрытия карьера не предусматривала данную технологию, для этого требуется изменение конструкции нерабочего борта карьера на участках расположения перегрузочных пунктов.

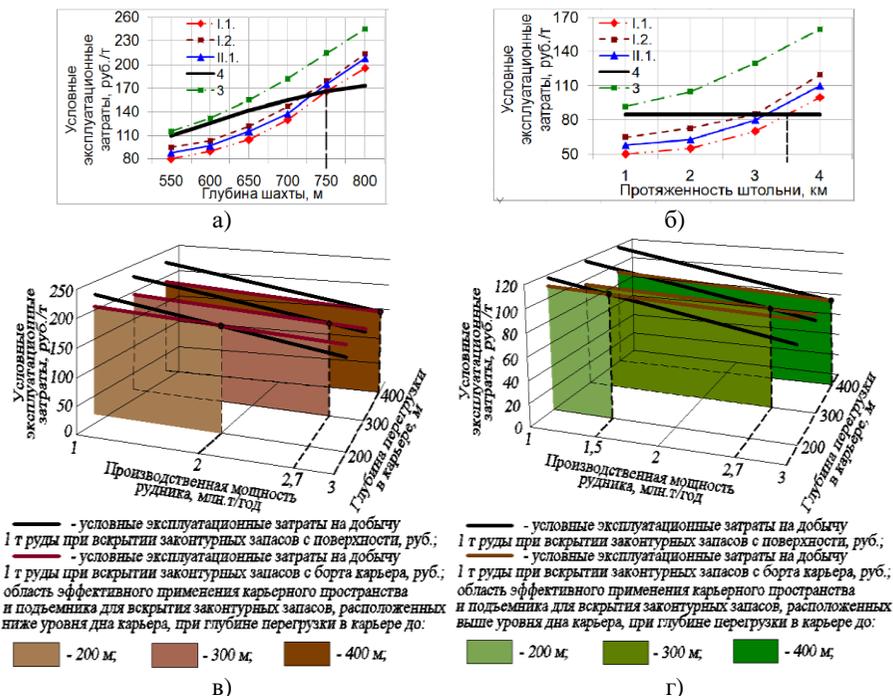


Рисунок 11 - Зависимость условных эксплуатационных затрат на добычу руды: а – от глубины подземного рудника; б – от протяженности штольни; в - от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере для запасов, расположенных ниже уровня дна карьера; г - от производственной мощности рудника при различной глубине расположения перегрузочного пункта в карьере для запасов, расположенных выше уровня дна карьера

В пятой главе предложена конструкция вскрывающих выработок при переходе к открыто-подземному способу, позволяющая реализовать ЦПТ транспортирования рудной массы подземного рудника, разработана методика определения параметров этапов вскрытия глубоких горизонтов рудных месторождений и выбора стратегии развития ГТС при открытой и комбинированной геотехнологии.

Переход на открыто-подземный способ разработки на месторождении часто предполагает использование выработанного карьерного пространства и сфор-

мированной схемы вскрытия для обслуживания подземного рудника. При применении карьерных подъемников, автомобильные съезды также потребуются для обслуживания перегрузочного пункта и подземного рудника. Для условий применения подземной разработки с обрушением вмещающих пород, в зону сдвижения может попадать частично или полностью пространство карьера. Сохранение транспортных коммуникаций возможно путем оставления целиков. В зависимости от схемы вскрытия и формы трассы, от 50 до 100% пространства карьера попадает в охранную зону. 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.

Для условий этапа доработки открытым способом и перехода к открыто-подземному способу разработки разработана конструкция карьерного подъемника (патент на полезную модель 186195 РФ), которая может эксплуатироваться без поддержания системы карьерных вскрывающих выработок для автомобильного транспорта. Для этого карьерный подъемник соединяется единым приводом с подъемным устройством, обслуживающим перегрузочный пункт (рис. 12).

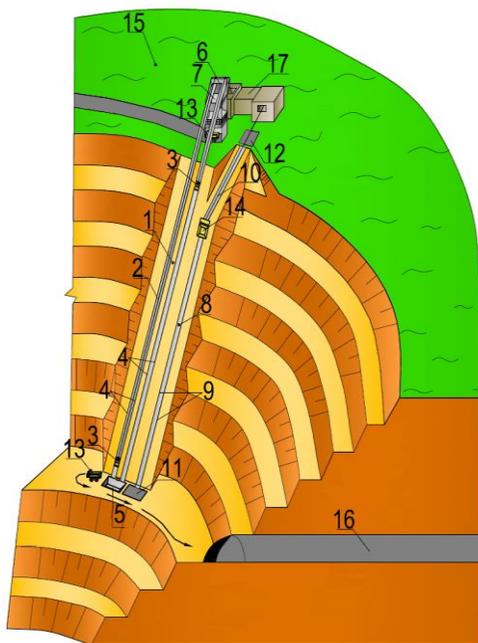


Рисунок 12 – Конструкция карьерного подъемника: 1 – карьерный подъемник; 2 – тяговая часть подъемника; 3 – транспортируемая горная масса; 4 – трасса подъемника; 5 – погрузочный бункер; 6 – разгрузочная башня; 7 – разгрузочный бункер; 8 – подъемное устройство; 9 – направляющие для шахтного оборудования; 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

Данное подъемное устройство, размещаемое в крутой траншее или на опорных конструкциях, позволяет не только доставлять горную массу на по-

верхность, но и производить подъем и спуск оборудования и материалов для подземного рудника без использования автотранспорта. Аналогичные решения были также разработаны для условий применения шевронного трубчатого конвейера «Chevron-MegaPipe Conveyor».

Имеющиеся съезды от поверхности до перегрузочного пункта могут быть отработаны до ширины предохранительных берм, либо однополосных наклонных транспортных берм, что позволит в период перехода на открыто-подземный способ разработки увеличить угол нерабочего борта и, соответственно, глубину карьера без разноса борта карьера по поверхности, а также сформировать площадку под рудный склад и перегрузочный пункт с заданными параметрами. Выполненное моделирование для условий глубоких карьеров показало, что в зависимости от угла откоса нерабочего уступа, проектной глубины открытых горных работ и горизонта расположения перегрузочного пункта, приращение глубины разработки может достигать 30% (рис. 13).

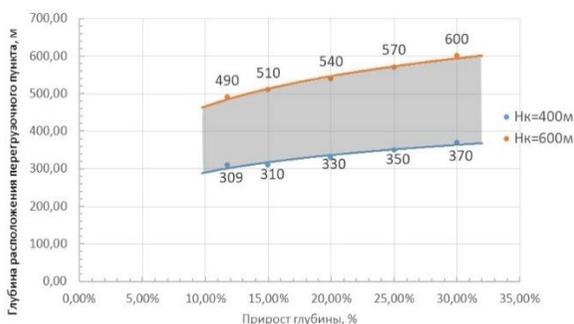


Рисунок 13 – Зависимость приращения конечной глубины карьера от глубины расположения перегрузочного пункта

Приращение глубины карьера в период перехода к открыто-подземной разработке позволит обеспечить безразрывную добычу руды в условиях строительства подземного рудника. Предложенные технологические решения учитываются при разработке вариантов стратегии развития ГТС.

После оценки параметров этапов вскрытия и определения наиболее целесообразной стратегии развития ГТС на месторождении, необходимо произвести оценку экономической эффективности варианта с наибольшим рангом. Для этого определяются экономические показатели эффективности реализации проекта: рентабельность предприятия, срок окупаемости инвестиций, совокупный дисконтированный доход. Для принятия решения о реализации проекта, в результате проводимых преобразований ГТС, значения экономических показателей должны соответствовать ожиданиям инвестора. Оценка возможных вариантов целесообразно производить с учетом окупаемости капитальных вложений в транспортное обеспечение принятой системы вскрытия. Периодичность ранжирования зависит от изменения и влияния внешних и внутренних факторов функционирования ГТС.

Результаты исследований и разработанные технологические решения легли в основу пошаговой методики определения параметров этапов вскрытия и

выбора целесообразной стратегии развития ГТС, основные пункты которой представлены в виде алгоритма на рис. 14.

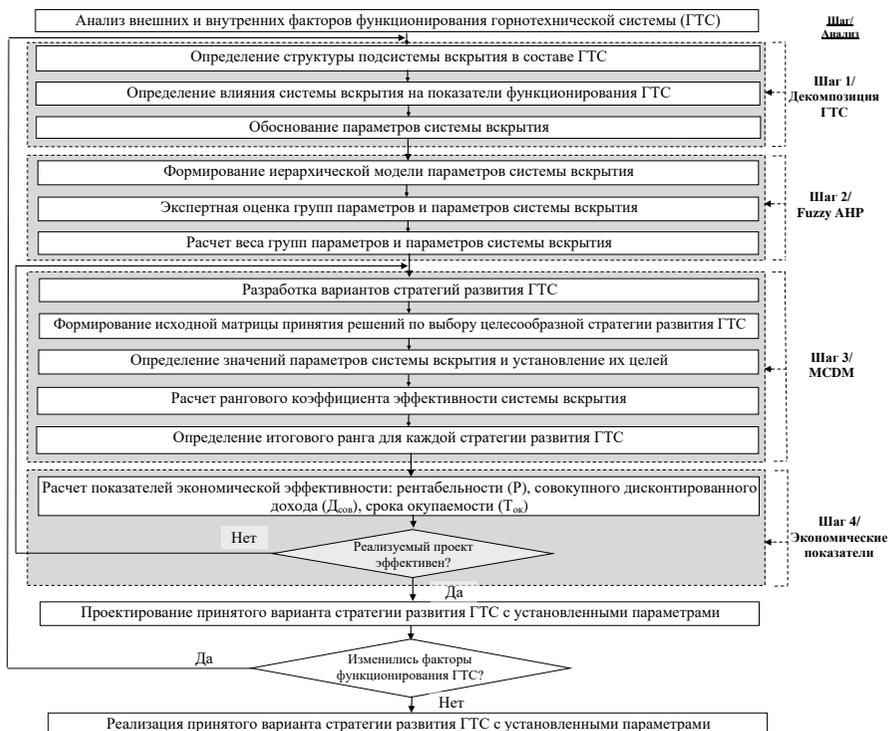


Рисунок 14 – Алгоритм методики определения параметров системы вскрытия и принятия решения по выбору стратегии устойчивого развития ГТС

Предлагаемый подход к формированию структуры системы вскрытия, методы оценки ее эффективности, технологические решения по развитию циклично-поточной технологии транспортирования горной массы учитываемые в разработанной методике позволяют обеспечить устойчивость предприятия при воздействии изменяющихся факторов внешней и внутренней среды и повысить эффективность ГТС на всех этапах освоения рудных месторождений.

В шестой главе выполнена технико-экономическая оценка разработанных методических рекомендаций по повышению эффективности систем вскрытия и обеспечению развития ГТС для горнодобывающих предприятий уральского региона.

Практическая реализация разработанных автором методики и геотехнологических решений осуществлялась на горнодобывающих предприятиях уральского региона. В результате изменения параметров текущего этапа на Аккер-

мановском руднике ожидаемый экономический эффект составит 234,2 млн.руб; для принятого варианта системы вскрытия Круторожинского карьера – 324,13 млн.руб.; для условий перехода на открыто-подземный способ разработки месторождения Юбилейное – 338,78 млн.руб.

Для условий карьера Малый Куйбас ПАО «ММК» были оценены четыре стратегии: А1 – изменение параметров текущего этапа; А2 – переход на новый этап ОГР; А3 – переход на открыто-подземный способ и А4 – прекращение функционирования ГДП. В табл. 2 представлены результаты оценки параметров системы вскрытия для рассматриваемых стратегий.

Таблица 2 – Ранговая оценка стратегий развития на Малом Куйбасе

Параметры	Стратегии развития ГТС			
	A1	A2	A3	A4
Значения рангового коэффициента $K_{эв}$	0.4226	0.5757	0.5908	0.5647
Итоговый ранг	4	2	1	3

Стратегия А3, имеющая наибольший ранг, была предложена в качестве альтернативы развития ГТС. Для выбранного варианта была рассчитана величина совокупного дисконтированного дохода, которая составила 1,7 млрд. руб.

Результаты исследований позволили выявить закономерное изменение эффективности функционирования горнотехнической системы при поэтапном вскрытии и разработке рудных месторождений комбинированной геотехнологией (рис. 15). Развитие ГТС при поэтапном вскрытии предполагает наличие в каждый рассматриваемый момент нескольких вариантов стратегий с различной итоговой эффективностью. В процессе ранжирования параметров системы вскрытия устанавливается вариант с наибольшим рангом.

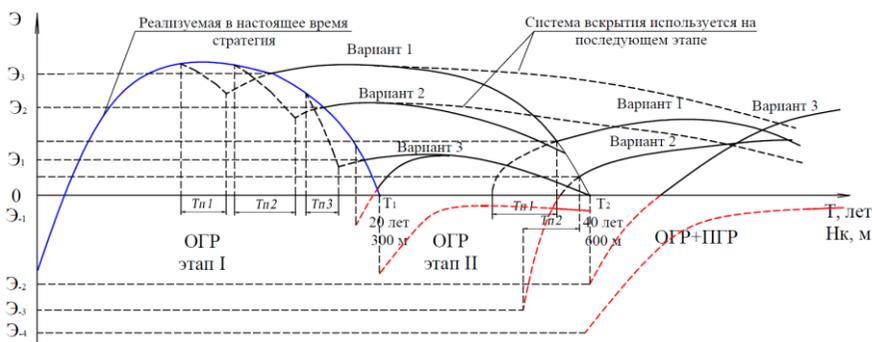


Рисунок 15 – Закономерное изменение экономической эффективности вариантов этапов вскрытия от глубины горных работ и периода разработки: Э – экономический эффект от реализации вариантов системы вскрытия, Т – время разработки месторождения, лет, Т₁, Т₂ – сроки окончания 1 и 2 этапов вскрытия и разработки; Т_{п1}, Т_{п2}, Т_{п3} – продолжительность периода перехода для различных вариантов развития ГТС и системы вскрытия

На рис. 15 возрастающая форма кривых свидетельствуют о малом росте затрат, связанных с увеличением глубины ведения горных работ и, соответственно, большей величине получаемого экономического эффекта при условно постоянной цене на добываемую руду. Тенденция снижения экономической эффективности при приближении к окончанию этапа свидетельствует о росте затрат в системе вскрытия. Варианты 1,2,3 имеют наибольший ранг из рассматриваемых в конкретный период альтернатив 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 новую стратегию, к моменту окончания очередного этапа разработки возникают разрывы в добыче руды, что также негативно сказывается на показателях экономической эффективности горнодобывающего предприятия, вплоть до постоянных отрицательных значений, свидетельствующих о неэффективности производства.

На примере исследований по выбору стратегии развития ГТС, проведенных для карьера Малый Куйбас в период с 2012 по 2021 гг., подтверждена данная закономерность. Не принятые к реализации в разные годы стратегии по мере развития горных работ стали невозможными к применению ввиду исключения транспортного доступа к отдельным площадкам, размещения внутренних и внешних отвалов на площадях перспективного размещения вскрывающих выработок, несоответствия интенсивности отработки отдельных участков условиям реализации перспективных стратегий развития.

Таким образом, результаты исследований показали, что эффективность реализуемых стратегий зависит от принятых параметров системы вскрытия, от периода перехода на новый этап вскрытия по отношению к сроку окончания очередного этапа разработки, а также от планируемой продолжительности использования системы вскрытия, при этом наиболее целесообразные варианты предполагают ее применение не только на текущем, но и на последующих этапах разработки рудных месторождений при комбинированной геотехнологии.

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 выводы и результаты, полученные лично автором:

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 добычей 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 раз-

вивать 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 циклической 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.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:

В изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science:

1. Gavrishchev, S.E. Increasing the Work Scope of Conveyor Transport at Mining Companies / S.E. Gavrishchev, K.V. Burmistrov, N.G. Tomilina // Procedia Engineering, Vol. 150, 2016, P. 1317–1321.
2. Обоснование эффективных параметров комбинированного открыто-подземного способа разработки угольных месторождений / В.А. Пикалов, А.В. Соколовский, В.Н. Василец, К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов // Горный журнал. – 2016. – №1 (2222). – С. 67-72.
3. Обоснование технологических схем транспортирования горной массы с применением карьерных подъемников при разработке месторождений открыто-подземным способом / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, С.Н. Корнилов, Н.Г. Томила // Горный журнал. – 2016. – №5 (2226). – С. 41–47.
4. Burmistrov, K.V. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction / K.V. Burmistrov, N.A. Osintsev, A.N. Shakshakpaev // Procedia Engineering, Vol. 206, 2017, P. 1696–1702.
5. 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 (2246). – С. 27–32.
6. Обоснование параметров разработки Лысогорского месторождения кровельных сланцев / С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов, К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов // Горный журнал. – 2018. – №12 (2257). – С. 42–46.
7. 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.
8. Гавришев, С.Е. Концепция устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2019. - № 3. - С. 145–160.
9. Бурмистров, К.В. Принципы устойчивого развития горно-технических систем в переходные периоды / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. Т. 331. – № 4. 179–195.
10. Бурмистров, К.В. Ранжирование параметров и показателей устойчивого функци-

онирования и развития системы вскрытия карьера методом fuzzy АНР / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // Устойчивое развитие горных территорий. – Т. 12. - №3(45). – С. 394–409.

11. Бурмистров, К.В. Оценка устойчивости функционирования системы вскрытия карьеров / К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2020. – № 4. – С. 123–132.
12. Rakhmangulov, A. Sustainable Open Pit Mining and Technical Systems: Concept, Principles, and Indicators / A. Rakhmangulov, K. Burmistrov, N. Osintsev // Sustainability. 2021; 13(3):1101.
13. Выбор стратегии устойчивого развития горнотехнической системы методом МАВАС / К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, Н.А. Осинцев, И.А. Пыталев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. С. 268–283.

В изданиях, рекомендуемых ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ

1. Гавришев, С.Е. Особенности конструирования и расконсервации временно нерабочих бортов / С.Е. Гавришев, А.А. Колонюк, К.В. Бурмистров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №2. – С. 32–36.
2. 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 (научно-технический журнал). – 2007. – №3. – С. 37–41.
3. 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 (29). – С. 22–25.
4. Гавришев, С.Е. 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 (научно-технический журнал). – 2010. – №8. – С. 225–228.
5. Выбор оптимального направления развития горных работ в период интенсивной разработки месторождения «Малый Куйбас» / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк, В.А. Кидяев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №9. – С. 302-306.
6. Гавришев, С.Е. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2010. – №3 (31). – С. 5-7.
7. 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 (научно-технический журнал). – 2012. – №6 – С. 165–172.

8. 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 государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – №4 (40). – С. 5–10.
9. Обоснование рациональных вариантов перехода с открытого на подземный способ разработки месторождения «Малый Куйбас» / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров, А.А. Гоготин, О.В. Петрова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №4. – С. 132–139.
10. 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 // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – №7. – С. 9–15.
11. Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников / С.Е. Гавришев, В.Н. Калмыков, К.В. Бурмистров, В.Ю. Заляднов, Н.Г. Томилина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – №1 (45). – С. 7–11.
12. Оценка эффективности применения технологических схем транспортирования руды при отработке законтурных запасов месторождения / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, И.С. Бурмистрова, А.Н. Рахмангулов, и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №4 (специальный выпуск 15). – С. 131–139.
13. Обоснование параметров карьерных транспортных коммуникаций на различных этапах разработки месторождения / К.В. Бурмистров, И.С. Бурмистрова, А.Д. Кольга, А.Н. Шакшакаев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №4 (специальный выпуск 15). – С. 140–146.
14. 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 (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-1. – С. 291–300.
15. Бурмистров К.В. Обоснование системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 12 (специальный выпуск 38). Т. 2. – С. 84–94.
16. Выбор комплекса горнотранспортного оборудования для карьеров по добыче известняка в сложных горнотехнических условиях / А.Н. Волокитин, К.С. Наумов, К.В. Бурмистров, О.А. Соколовская и др. // Рациональное освоение недр. – 2021. – №5. – С. 59–65.

Монографии:

1. Гавришев, С.Е. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, А.А. Колонюк // Магнитогорск: Изд-во Магни-

тогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, – 2013. – 187 с.

2. Использование карьерных подъемников при открыто-подземной разработке месторождений / 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.

Охранные документы:

1. Патент на полезную модель 186195 РФ. Карьерное подъемное устройство / А.А. Гоготин, В.Н. Калмыков, С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров. – Оpubл. 11.01.2019, Бюл. №2.
2. 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». – Оpubл. 02.08.2019, Бюл. №8.

В прочих изданиях

1. Гавришев, С.Е. Методы управления интенсивностью горных работ при разработке железорудных месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров // Проблемы развития горнодобывающих отраслей промышленности и безопасности контролируемого использования хризотилового волокна и хризотилсодержащих материалов: Материалы III Межд. науч.-практ. конф. – Житикара, Республика Казахстан: Институт горного дела им. Д.А. Кунаева. – 2005.- С. 310-314.
2. Гавришев, С.Е. Повышение эффективности комбинированной открыто-подземной разработки месторождений путем изменения схемы вскрытия карьера / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, В.А. Кидяев // Проблемы индустриально-инновационного развития горнодобывающих отраслей промышленности и мировая геополитика освоения хризотилового волокна: Материалы пятой международной научно-практической конференции. – Житикара, Республика Казахстан: Институт горного дела им. Д.А. Кунаева. – 2010. – С.35-38.
3. 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 конференция с международным участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых – Варна, Болгария, - 2013. – С. 37–42.
4. 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. (9-11 сентября 2013 г.). Алматы, - 2013 г. - С.261-265.
5. 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. Труды Международной научно-практической конференции. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сәптаева, – 2013. – С. 25–32.
6. 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.
7. 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.
 8. Бурмистров, К.В. Оценка целесообразности реконструкции карьера «Малый Куйбас» с вовлечением в отработку законтурных запасов / К.В. Бурмистров, Г.В. Михайлова, З.Р. Даутбаев // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 74-й между-народной научно-технической конференции*. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, – 2016. – Т.1. – С. 34–37.
 9. Бурмистров К.В. Методология проектирования системы вскрытия в переходные периоды разработки месторождений // *Труды Международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность»*, г. Магнитогорск, 2017: – Сб. трудов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, – 2017. – С. 57-58.
 10. Бурмистров, К.В. Устойчивое развитие и функционирование горнотехнических систем / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // *Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции (26-27 декабря 2019 г.)*. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2019. – Вып. 4. – С. 164–167.
 11. Бурмистров, К.В. Разработка совместной схемы вскрытия месторождения «Юбилейное» / К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, Н.Г. Томилина // *Сборник статей по результатам Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу»*. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова – 2019. – С. 93–98.
 12. Бурмистров, К.В. Комбинированная FAHP-PROMETHEE модель выбора стратегии устойчивого развития горнотехнической системы / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев // *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.