

На правах рукописи



Струков Константин Иванович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ЗАВЕРШАЮЩЕЙ СТАДИИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ
ЖИЛЬНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА**

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

25.00.21 – Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва-2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук

Научный консультант профессор, доктор технических наук
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук
Кузьмин Евгений Викторович,
начальник лаборатории
АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва

профессор, доктор технических наук
Габараев Олег Знаурович,
заведующий кафедрой горного дела,
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-
металлургический институт (государственный
технологический университет)», г. Владикавказ

доктор технических наук
Соколов Игорь Владимирович,
заведующий лабораторией подземной
геотехнологии ФГБУН Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии
наук, г. Екатеринбург

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «28» июня 2018 г. в 15⁰⁰ 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, малый актовЫй зал.

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 « » апреля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук

 С.Н. Корнилов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Урал, охватывающий не более 4% территории России, заключает почти 14% российских запасов золота, исторически являясь старейшим золотодобывающим регионом страны. На протяжении нескольких столетий подряд, со времени открытия Березовского месторождения в 1745 г., его богатые месторождения вносят весомый вклад в золотой фонд России и в укрепление ее позиций на мировых сырьевых рынках. Сырьевая база Южного Урала включает не только природные месторождения золота, но и техногенные образования. В настоящее время на Урале эксплуатируются в основном кварцево-жильные, прожилково-вкрапленные и колчеданные месторождения, обработка которых ведется открытым и подземным способами на глубинах до 750 м. Большинство месторождений находятся на завершающей стадии разработки. При существующих масштабах добычи, прогнозная обеспеченность запасами для подземной разработки составляет 20–30 лет и открытой – 30–40 лет. Однако, с учетом увеличения объемов добычи и выбытия действующих мощностей, обеспеченность отрасли резко снизится, что приблизит регион к критическому уровню состояния сырьевой базы рудного золота. Увеличение спроса на отдельные металлы и рост их стоимости на мировом рынке заставляет уделять все большее внимание вопросам полноты и комплексности разработки месторождений, вовлекать в разработку все более мелкие и сложные по строению месторождения, искать технологические решения, обеспечивающие полноту и качество извлечения запасов. Указанное обуславливает необходимость продления периода эффективной эксплуатации месторождений за счет вовлечения в разработку руд, оставленных при первичной добыче в целиках различного назначения, минерализованных зонах висячем и лежащем блоках золотоносных жил; залежей глубоких горизонтов, расположенных в зоне концентрации тектонических субгоризонтальных и гравитационных вертикальных напряжений; техногенного золотосодержащего сырья, накопленного за многовековой период эксплуатации месторождений в хвостохранилищах.

Обеспечение рентабельности вовлечения природных и техногенных запасов в эксплуатацию требует нетрадиционных подходов с применением комбинированных геотехнологий, включая выщелачивание, совершенствования систем разработки, переходом на крупномасштабную добычу.

Обоснование параметров горнотехнических систем и разработка энергоэффективных геотехнологий на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала представляет важную социально-экономическую проблему, решение которой будет способствовать продлению сроков эксплуатации рудников с сохранением объемов товарной продукции и рабочих мест.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 14-37-00050 «Исследование экологически сбалансированного цикла комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых» и реализована на рудниках АО «Южуралзолото Группа Компаний» (АО «ЮГК») в период с 1997 по 2017 годы.

Цель работы состоит в разработке и обосновании параметров энергоэффективных геотехнологий, обеспечивающих рентабельность освоения жильных золоторудных месторождений Урала на завершающей стадии подземной разработки.

Идея работы: на завершающей стадии эксплуатации месторождения сохранение рентабельности добычи при максимальном извлечении ценных компонентов возможно путем реструктуризации запасов и компенсации влияния негативных факторов при доработке месторождения за счет внедрения ресурсосберегающих и энергоэффективных геотехнологий.

На основе обобщения результатов исследований, актуальности проблемы и определения основных тенденций и перспектив роста эффективности геотехнологий определены **задачи исследования:**

- анализ и обобщение опыта освоения жильных месторождений с учетом особенностей горно-геологических условий и геомеханического состояния массива горных пород на завершающей стадии освоения запасов;
- развитие научно-методических основ проектирования разработки месторождений на завершающей стадии;
- определение особенностей состояния геологических запасов, полей напряжений и деформаций при освоении жильных золоторудных месторождений Урала;
- установление закономерностей изменения геомеханического состояния рудных и вмещающих их породных массивов на завершающих стадиях эксплуатации золоторудных месторождений;
- совершенствование и обоснование параметров геотехнологии выемки золото-содержащих руд на завершающей стадии разработки месторождений;
- выбор логистической схемы подземного рудника при увеличении его производственной мощности в связи с переходом на разработку бедных золотосодержащих руд;
- разработка геотехнологии воспроизводства электроэнергии при преобразовании энергии шахтных потоков гидросмесей;
- разработка принципа обоснования стратегии комплексного освоения участка недр на завершающей стадии освоения месторождений;
- разработка технологических рекомендаций по обеспечению рентабельности подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала и оценка их экономической эффективности.

Методы исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение опыта освоения жильных месторождений, особенностей горно-геологических условий, испытания физико-механических характеристик руд и пород, оценку структурного состояния массива, натурные замеры напряжений методом щелевой разгрузки, геомеханическое моделирование состояния массива горных пород, технологическое моделирование и опытно-промышленные эксперименты, экономико-математическое моделирование, технико-экономическую и вероятностную оценку результатов исследований и их статистическую обработку.

Положения, выносимые на защиту:

1. Завершающая стадия разработки жильных месторождений предполагает новые принципы освоения недр в целях сохранения производственного потенциала горнотехнической системы и комплексного использования георесурсов для недопущения ликвидации предприятия и обеспечения его эффективного развития. Многогранность и многофункциональность недр обуславливают поэтапность использования их ресурсов. В связи с этим завершающая стадия отработки включает несколько этапов, каждый из которых должен сопровождаться вовлечением в эксплуатацию дополнительных георесурсов с учетом изменения технико-экономических условий при соблюдении баланса народнохозяйственных интересов собственника недр с коммерческими интересами пользователя недр и социальными интересами населения соответствующего промышленного региона.

2. Функционирование горнотехнической системы на завершающей стадии обеспечивается путем восполнения производственных мощностей рудников за счет их технического переоснащения и вовлечения в эксплуатацию бедного, ранее некондиционного природного и техногенного сырья комбинированием физико-технических и физико-химических геотехнологий. При этом обеспечение приемлемого уровня рентабельности достигается за счет вовлечения в добычу на основе крупномасштабных технологий, наряду с жильными запасами, руд минерализованных зон с последующей утилизацией техногенного сырья, образующегося при их добыче и переработке.

3. Завершающая стадия предполагает освоение запасов оставшегося рудного сырья по всей глубине месторождения. В условиях техногенно измененного напряженно-деформированного состояния массива пород, на верхних горизонтах вертикальная составляющая напряжений σ_z уменьшается относительно природного поля и составляет на Кочкарском месторождении до глубины 300 м – $(0,5 - 0,8)\gamma H$, а горизонтальные составляющие σ_x и σ_y равны соответственно $1,2\gamma H$ и $1,4\gamma H$. Поэтому переход на камеры увеличенной ширины не приводит к осложнению геомеханической обстановки. В то же время на глубоких горизонтах месторождения - ниже 500 м, при вертикальной составляющей напряжений σ_z , равной $(1,35 - 1,8)\gamma H$, и гори-

зонтальных σ_x и σ_y , соответственно, 2,0γН и 3,3γН, обеспечение безопасности достигается переходом на восходящий порядок отработки этажей камерными системами разработки с закладкой.

4. На завершающей стадии подземной отработки жильных золоторудных месторождений Урала при контрастности содержания золота в жилах и прилегающих к ним минерализованных зонах до 8 и мощности жил до 1 м, предпочтительна валовая выемка руды. Селективная выемка целесообразна только при контрастности содержания выше 8, мощности жилы $m > 1,5$ м и мощности минерализованных зон $m < 10$ м.

5. Возможность получения в шахтных условиях возобновляемой энергии от потоков гидросмесей: шахтной воды, гидравлической смеси на основе текущих и сгущенных хвостов обогащения, твердеющей закладочной смеси с учетом вещественного состава, плотности и вязкости определяется установленными параметрами горнотехнической системы – высота одноступенчатого перепуска смеси 30 – 100 м, угол падения гидросмеси на турбину - 65 – 90° и может составить на золоторудных месторождениях Урала в зависимости от объемов и высоты падения гидросмеси от 5 до 30 % потребляемой энергии.

6. Сокращение удельного расхода от энергии природных источников на завершающей стадии подземной разработки жильных месторождений обеспечивается переходом на валовую крупномасштабную выемку золотосодержащих руд с применением комплекса самоходного и конвейерного оборудования и изменением логистической схемы рудника. С учетом рассредоточенности добычных участков и необходимости увеличения производственной мощности рудника модернизация логистической схемы должна предусматривать строительство автоуклона под самоходную технику для доставки рудной массы к участковым дробилкам, а также конвейерных участков выработок и наклонного конвейерного ствола для сбора и подъема рудной массы на поверхность.

Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена представительным объемом исходных данных, применением современных методов анализа и моделирования, экспериментальной лабораторной и опытно-промышленной проверкой разработанных технико-технологических решений, достоверной сходимостью результатов исследований, полученных различными методами, использованием современного оборудования и методик, а также положительным опытом внедрения разработанных технико-технологических решений в проектных институтах и на горных предприятиях.

Научная новизна.

Установлено, что полное раскрытие потенциала ресурсной базы и обеспечение безопасного и устойчивого развития предприятия на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений связаны с реструктуриза-

цией георесурсов, переходом на крупномасштабные технологии добычи руд с сокращением использования невозобновляемых природных источников энергии и привлечением техногенных возобновляемых источников. Доказано, что этим принципам отвечают геотехнологические решения по применению этажно-камерных систем разработки с камерами увеличенной ширины и валовой выемкой жил и минерализованных зон при восходящем порядке отработки глубоких горизонтов месторождений с закладкой при изменении логистической схемы подземного рудника с переходом на самоходное оборудование и циклично-поточную технологию.

Личный вклад автора состоит в обобщении опыта освоения жильных месторождений ценных руд, установлении особенностей состояния геологических запасов, оценке полей напряжений и деформаций на завершающей стадии освоения запасов жильных золоторудных месторождений Урала, совершенствовании и обосновании параметров геотехнологии выемки золотосодержащих руд на завершающей стадии разработки месторождений, выборе логистической схемы подземного рудника при увеличении его производственной мощности в связи с переходом на разработку бедных золотосодержащих руд, разработке геотехнологии воспроизводства электроэнергии при преобразовании энергии шахтных потоков гидросмесей, разработке технологических рекомендаций по подземной разработке жильных золоторудных месторождений Урала с оценкой их экономической эффективности и внедрении разработанных технологий в практику горных работ на рудниках АО «ЮГК».

Практическая значимость работы – разработана, опробована и внедрена ресурсосберегающая и энергоэффективная технология подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала, обеспечивающая на завершающей стадии эксплуатации сохранение рентабельности добычи при максимально возможном извлечении ценных компонентов путем реструктуризации запасов и компенсации влияния негативных факторов.

Реализация работы в промышленности

Результаты исследований приняты к использованию на предприятиях АО «ЮГК», что подтверждается актами внедрения разработанных организационно-технических решений с указанием достигнутого экономического эффекта.

Апробация работы

Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались на Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, 1999-2002, 2016-2018 гг.), Международной научной школе академика К.Н. Трубецкого (Москва, 2016 г.), Международной научной школе молодых ученых и специалистов (Москва, 2016 г.), Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (Магнитогорск, 2017 г.), научно-технической конференции «Проблемы экологической безопасности предприятий горно-металлургического комплекса и моно-

городов» (Магнитогорск, 2017 г.), Научно-практической конференции с международным участием «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017» (Севастополь, 2017 г.), Международной научно-практической конференции «Проблемы и решения в экологии горного дела» (Москва, 2017 г.), Международной научно-практической конференции «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли» (Москва, 2017 г.), Международной научно-практической конференции «Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ» (Магнитогорск, 2018 г.).

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 38 работах, в том числе в 16 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, из них 10 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 2 монографии, 20 статей в прочих изданиях.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 327 страницах и состоит из 6 глав, введения и заключения, содержит 98 рисунков, 89 таблиц, 103 формулы, список литературы из 141 наименования, 4 приложения (А-Г)

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен обзор геологических, геомеханических и горнотехнических условий и особенностей эксплуатации коренных золоторудных месторождений Урала на завершающих стадиях их эксплуатации.

Вопросами развития теории и практики освоения месторождений на завершающих стадиях занимались в разное время многие известные ученые. Существенный вклад в решение указанных проблем внесли труды академиков М.И. Агошкова, К.Н. Трубецкого, член-корреспондента РАН Д.Р. Каплунова, докторов технических наук И.И. Айнбиндера, В.А. Атрушкевича, И.В. Баклашова, О.С. Брюховецкого, В.К. Вороненко, О.З. Габараева, Ю.П. Галченко, Л. Грейнера, А.В. Зубкова, О.В. Зотева, Д.М. Казикаева, В.Н. Калмыкова, Г.Б. Клейнера, Е.В. Кузьмина, В.В. Куликова, А.Б. Макарова, Б.В. Несмеянова, Е.И. Панфилова, М.В. Рыльниковой, И.В. Соколова, Н.Н. Чаплыгина, С.Л. Шашурина, Г.В. Широковой, М.Ф. Шнайдера, Б.П. Юматова, Р.Б. и А.Б. Юна и многих других ученых. В их работах разработаны методики повторного освоения месторождений, проведена классификация способов повторной разработки неотработанных при первичном освоении участков месторождений, показана область их эффективного применения, составлены технологические схемы выемки потерянных ранее запасов. Ими были рассмотрены вопросы развития технологии первичной и повторной разработки месторождений, теория жизненного цикла предприятия, создания ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий комплексного освоения месторождений, вопросы геомеханического обеспечения горных работ. Однако, как

показал выполненный литературный обзор, во всех трудах отсутствуют решения по совершенствованию геотехнологии и обоснованию параметров горнотехнической системы на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений.

В настоящее время АО «ЮГК», в соответствии с лицензиями на пользование недрами, разрабатывает жильные золоторудные месторождения: Кочкарское, Светлинское, Березняковское, Южный Курасан и Западный Курасан и др. В планах - восстановление до 2020 г. Новотроицкого золото-мышьяковистого месторождения, входящего в Кочкарское рудное поле (табл.1).

Таблица 1 – Характеристика золоторудных месторождений Южного Урала

Месторождение, год начала эксплуатации	Обеспеченность запасами	Среднее содержание золота в руде, г/т	Тип месторождения	Способ разработки
Кочкарское, 1867	15 лет	11–13	Жильное	Подземный
Светлинское, 1992	от 6 до 12 лет; по другим источникам 20 лет	0,8-2,5	Жильное, сложное по геологическому строению: единая плитообразная залежь, усложненная наличием внутри нее довольно крупных блоков безрудных пород	Открытый
Березняковское, 2000-2005	15 лет; по другим источникам 6-7 лет	3-10	Жильное. Минерализованная зона без четких геологических границ, с прожилково-вкрапленной золото-сульфиднокварцевой минерализацией, с крайне неравномерным, прерывистым распределением золота	Открытый
Новотроицкое, 1878	15 лет		Жильное	Подземный
Южный Курасан, 1977	8 лет	5-7	Рудные тела неправильной формы	Открытый, кучное выщелачивание
Западный Курасан, 1992	7 лет	3-4	Рудные тела неправильной формы	Открытый, кучное выщелачивание

Практика отработки жильных месторождений показала, что на завершающей стадии их освоения характерно сложное геологическое строение и изменение условий залегания оставшихся геологических запасов, низкое содержание ценных компонентов в рудах, возможна минерализация вмещающих пород, высокие значения напряжений в горных массивах, высокая скорость понижения горных работ и большая глубина разработки, увеличение интенсивности проявлений горного давления, усложнение условий ведения очистной выемки в техногенно измененном массиве, рост затрат на транспортирование и подъем рудной массы, малый масштаб и мощность рудных тел, высокое разубоживание и засорение добываемых руд, рост объемов твердых отходов.

В современных реалиях не существует единого определения завершающей стадии разработки месторождения. Несмотря на некоторые отличия в формулировках, большинство исследователей, проводя аналогию между развитием горных работ на месторождении и развитием любого другого предприятия, рассматривали их с точки зрения теории жизненных циклов, когда жизненный цикл представляет собой определенную последовательность сменяющих друг друга этапов или стадий развития: возникновение; рост; стабилизация; а далее – преимущественно спад и ликвидация.

Хотя, как показывает опыт, на отдельных этапах, завершающей стадии эксплуатации месторождения возможны два принципиально различных развития событий: спад в случае функционирования горного предприятия на прежних принципах и рост при изменении стратегии развития на основе принципиально новых геотехнологических решений. Поэтому для горного предприятия завершающая стадия не соответствует общепринятому определению в теории жизненных циклов.

В отличие от предприятий других отраслей жизненный цикл горных предприятий зависит от исходных природных условий разработки. Выполненный анализ состояния минерально-сырьевой базы золоторудных месторождений Южного Урала, горнотехнических и геомеханических условий горных работ на месторождениях, осваиваемых АО «ЮГК», проведенное обобщение опыта с выявлением технологических особенностей эксплуатации жильных месторождений Урала и систематизацией технологических тенденций развития горных работ на завершающих стадиях освоения месторождений позволили определить особенности освоения месторождений на завершающей стадии:

- относительно небольшой объем оставшихся балансовых запасов и большой объем оставленных при первичной отработке забалансовых руд;
- зачастую – длительный и многовековой период освоения, когда уже отработаны до 80% балансовых запасов;
- все минерально-сырьевые запасы техногенно изменены, и это обуславливает проявление негативных горно-геологических, горнотехнических и геомеханических факторов, которые осложняют ведение горных работ;
- низкое и весьма изменчивое содержание ценных компонентов в руде;
- большой объем накопленных пустот и техногенное изменение напряженно-деформированного состояния массива пород;
- по ряду участков месторождений, исторически многократно вовлекаемых в эксплуатацию, не сохранилась геологическая и техническая документация, поэтому возникают дополнительные трудности с изучением горно-геологических условий залегания и обоснованием горнотехнических параметров разработки;
- затухание горных работ влечет снижение экономических показателей, а ликвидация предприятия связана с тяжелыми социальными и экологическими последствиями.

Анализ опыта освоения месторождений и изученности проблемы развития горных предприятий на завершающей стадии позволил сформулировать цель и задачи исследований.

Во второй главе диссертации получили развитие научно-методические основы развития горных предприятий на завершающей стадии на основе формирования энергоэффективных горнотехнических систем.

Существующие принципы проектирования горнотехнической системы не обеспечивают стабильных показателей эффективности горного производства на стадии доработки месторождений, что приводит к снижению технико-экономических показателей функционирования предприятий и требует иного, более ответственного подхода к обоснованию концепции и выбору технологий освоения месторождений, особенно на завершающей стадии.

Анализ практики эксплуатации месторождений на завершающей стадии показал, что под ней необходимо понимать стадию, когда основные запасы (до 80% балансовых) по базовому проекту отработаны, но появились новые технологии добычи и переработки полезных ископаемых, условия для пересмотра кондиций, обеспечивающие прирост запасов.

При этом для обеспечения условий развития горного предприятия возможна и желательна реструктуризация георесурсов при реформировании, реорганизации, техническом перевооружении, а также, за счет внедрения технологий ресурсовоспроизводства возможно создание новых видов ресурсов недр, либо перевод потенциальных в реальные. Завершающую стадию следует рассматривать как переходный период на новые принципы освоения недр в целях сохранения производственного потенциала и комплексного освоения георесурсов, недопущения ликвидации предприятия и обеспечения его эффективного развития (рис. 1).

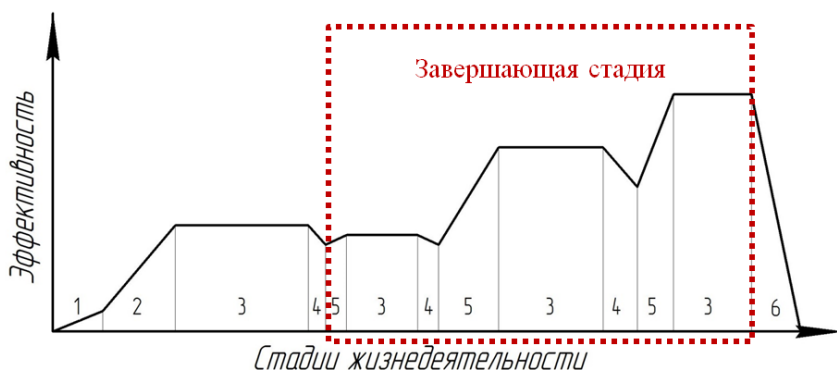


Рисунок 1 – Жизненные циклы и стадии развития горного предприятия:
1 – формирование; 2 – рост; 3 – стабилизация; 4 – падение;
5 – реструктуризация; 6 – ликвидация

Определены принципы формирования концепции освоения месторождений на завершающих стадиях эксплуатации, которые необходимо учитывать при проектировании устойчивой экологически сбалансированной горнотехнической системы:

- снижение влияния горно-геологических условий на технологические процессы подземного рудника;
- отказ от первоначальной избирательной отработки наиболее богатых участков месторождения и переход к совместной разработке с возможностью селективной выдачей разносортных руд;
- независимость основных технологических процессов во времени и пространстве;
- высокий уровень информатизации и диспетчеризации технологических процессов;
- формализация и стандартизация основных технологических процессов;
- производство продукции с заданным стабильным качеством;
- стабильность структуры издержек производства в течение основной фазы работы рудника.

Исследованиями доказано, что при реализации процессов техногенного преобразования недр возможно выделить дополнительную самостоятельную, ранее отсутствующую в классификации академика М. И. Агошкова, VII группу георесурсов – возобновляемые природные и техногенные источники энергии (табл. 2). Эти источники характерны только для горнотехнических систем и могут быть воспроизведены и использованы в них же только при комплексном освоении недр.

Таблица 2 – Расширенная классификация георесурсов

I	– месторождения полезных ископаемых, разделяющиеся на однокомпонентные и комплексные;
II	– горные породы, породы вскрыши и вмещающие породы от проходки подземных выработок, забалансовые запасы полезных ископаемых, добытые и раздельно складированные, пропластки вмещающих пород, извлеченные совместно с полезными ископаемыми и выдаваемые на поверхность для последующей переработки;
III	– отходы добычи и переработки извлеченного из недр минерального сырья – отходы горного, обогатительного и металлургического производств;
IV	– подземные пресные, минеральные и термальные воды;
V	– глубинное тепло недр Земли;
VI	– природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных недрах – выработанные пространства;
VII	– энергия, воспроизводимая в ходе реализации геотехнологических процессов.

Полное раскрытие потенциала ресурсной базы и обеспечение устойчивого безопасного и гармоничного развития горного предприятия на завершающей стадии эксплуатации месторождений неразрывно связаны с рациональным использованием невозобновляемых природных и техногенных источников энергии и переходом на использование возобновляемых источников. Для обоснования направлений исследований и поиска технологических решений по повышению энергосбережения и ресурсосбережения горного производства проведена систематизация процессов и устройств для получения возобновляемых источников энергии при комплексном освоении недр.

Для реализации указанной концепции воспроизводства новых функций земных недр определены направления возможного развития горнотехнических систем на завершающей стадии:

- разработка и совершенствование технологий добычи и переработки руд оставленных запасов с изменением требований к качеству сырья;
- пересмотр кондиций;
- использование выработанных пространств в различных целях;
- переход на добычу иных полезных ископаемых;
- отработка законтурных запасов карьера инновационными геотехнологиями;
- отработка запасов полезных ископаемых, которые ранее были отнесены к забалансовым;
- отработка техногенного сырья из отвалов и хвостохранилищ;
- вовлечение в отработку законсервированных запасов в целиках различного назначения;
- повышение энергоэффективности горнотехнической системы за счет энергосбережения и использования техногенных возобновляемых источников в ходе техногенного преобразования недр.

Разработана блок-схема реструктуризации георесурсов на завершающей стадии, которая включает последовательное выполнение семи этапов (рис. 2).

Развитие данного направления предполагает принятие новых принципов освоения жильных месторождений на завершающей стадии их эксплуатации:

- реструктуризация запасов;
- совершенствование технологий добычи руд и управления качеством рудной массы с целью снижения влияния горно-геологических условий на технологические процессы подземного рудника;
- отказ от первоначальной избирательной отработки наиболее богатых участков месторождения и переход к совместной разработке разносортных руд;
- высокий уровень информатизации, диспетчеризации и стандартизация технологических процессов;
- создание логистической схемы, позволяющей обеспечить перспективный рост производственной мощности рудника;

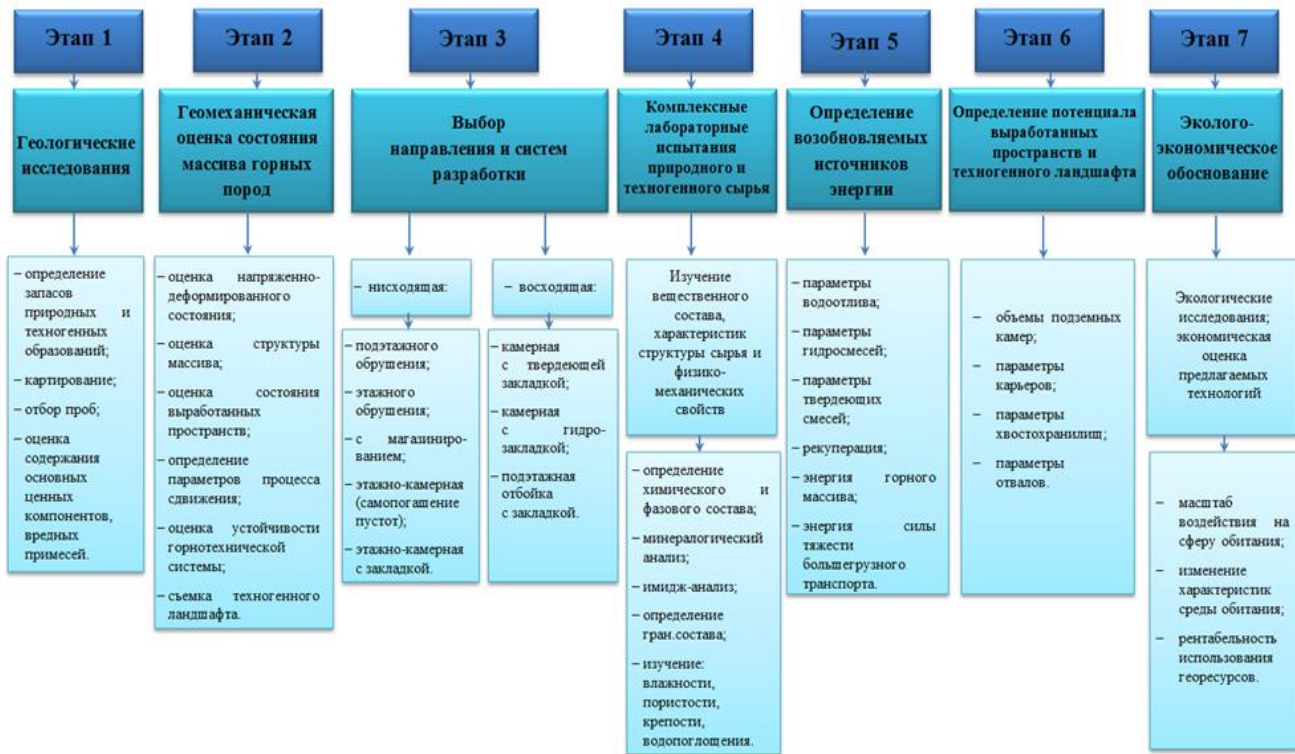


Рисунок 2 – Схема реструктуризации георесурсов на завершающей стадии

- переход на применение комбинированных физико-химических и физико-технических геотехнологий;
- расширение состава вовлекаемых в эксплуатацию георесурсов.

Комплексное и многоцелевое использование всех видов георесурсов, которые могут быть эффективно вовлечены в эксплуатацию на конкретном участке литосферы в конкретный период его освоения, внедрение инновационных ресурсосберегающих и энергоэффективных геотехнологий может обеспечить устойчивый экономический эффект.

В третьей главе исследованы геомеханические особенности массивов золоторудных месторождений Урала на завершающих стадиях их эксплуатации.

Исследования физико-механических свойств пород, слагающих Кочкарское месторождение, показали, что породы являются прочными, имеют высокие значения модуля упругих деформаций, хрупкими, способными накапливать упругую энергию и склонны к внезапному высвобождению напряжений в динамической форме. Изменение деформационных характеристик руд и пород с увеличением глубины представлено на рис. 3.

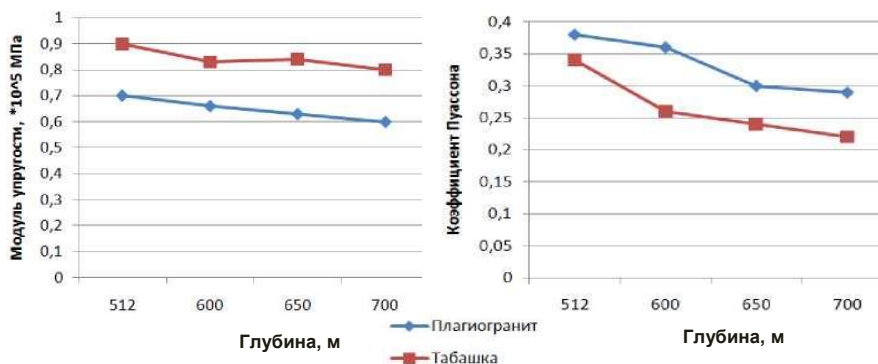


Рисунок 3 – Изменение модуля упругости и коэффициента Пуассона руд и пород Кочкарского месторождения с увеличением глубины

Для оценки параметров системы разработки также были проведены натурные замеры компонент поля напряжений в массиве пород Кочкарского месторождения методом щелевой разгрузки, как на верхних горизонтах, так на нижних (147 м, 296 м, 600 м, 650 м, 700 м). Установлено, что параметры поля напряжений по вертикальной составляющей σ_z на верхних горизонтах на 30-50% ниже расчетных, что является следствием разгрузки массива в результате первичной отработки запасов и обрушения налегающих пород (рис. 4). Горизонтальные напряжения не равны между собой ($\sigma_x \neq \sigma_y$) и превышают вертикальные в 1,1 - 1,6 раза (на верхних горизонтах); в 2 - 2,6 раза (на глубоких горизонтах). Большая составляющая σ_x направлена вкост простирания рудоносных жил. Эти значения напряжений были заложены в модель в качестве граничных условий нагружения массива.

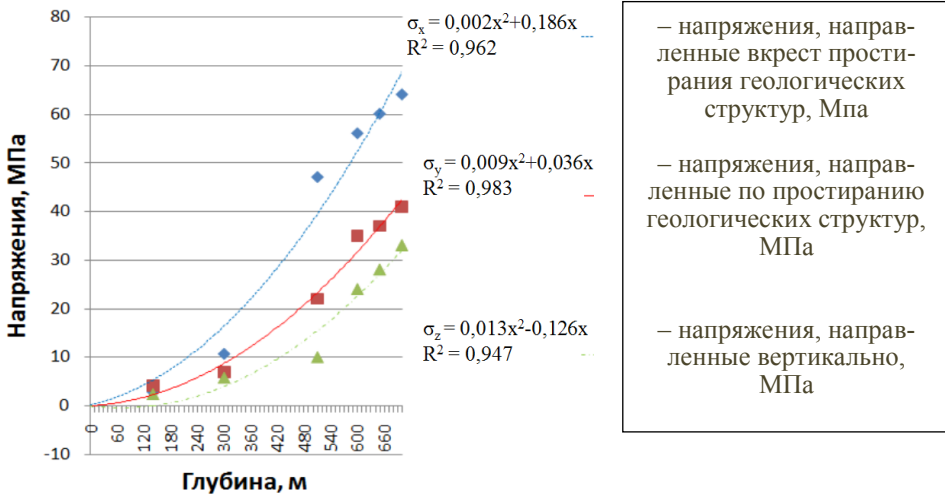


Рисунок 4 – График зависимости величины напряжений от глубины

Распределение напряжений в зоне влияния горных работ на завершающей стадии освоения Кочкарского месторождения изучалось моделированием с использованием метода конечных элементов в упругой объемной постановке задачи.

Установлено, что на глубоких горизонтах месторождения, как по вертикальной составляющей, так и по горизонтальной компоненте, идет пригрузка массива и наблюдается рост напряжений, которые были учтены при разработке геомеханической модели месторождения. Влияние закладки способствует снижению напряжений как со стороны висячего, так и со стороны лежачего бока выработанного пространства. По результатам исследований напряженно-деформированного состояния массива установлены закономерности распределения максимальных напряжений σ_x в несущих элементах систем разработки при освоении запасов на верхних и нижних горизонтах в зависимости от глубины ведения горных работ, ширины и высоты обрабатываемых камер в нисходящем и в восходящем порядке отработки запасов с закладкой выработанного пространства и с оставлением очистного пространства открытым.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что на верхних горизонтах месторождения увеличение ширины камер не приводит к существенному усложнению геомеханической ситуации в горном массиве. В то время, как на нижних горизонтах, увеличение ширины камер приводит к еще большей концентрации напряжений.

Переход на восходящую отработку запасов с заполнением выработанного пространства камер закладочной смесью позволяет более, чем в 2 раза снизить концентрацию напряжений в зоне ведения горных работ. Таким образом, на глубоких горизонтах месторождения переход к восходящей выемке с заполнением выработанного пространства закладочной смесью обеспечивает более безопасные условия.

Четвертая глава диссертации посвящена исследованию возможности использования возобновляемых источников энергии природного и техногенного происхождения в процессе комплексного освоения золоторудных месторождений.

Проведена систематизация всех возможных возобновляемых источников энергии и предложен принцип учета потоков гидросмесей. Доказано, что энергетический потенциал этих потоков в горнотехнической системе наибольший и наиболее перспективный для использования (рис. 5). Определены условия сбора различных потоков гидросмесей в карьере и в подземных горных выработках. Это - потоки воды шахтного водоотлива, потоки гидросмеси и закладочной смеси.



Рисунок 5 – Обобщенная технологическая схема формирования потоков гидросмеси в открытых I (карьер) и в подземных горных выработках II (ГВ), от системы водоотлива поверхностного закладочного комплекса III (ПЗК) и сгущенных хвостов обогащения обогатительной фабрики IV(ОФ)

Определена структура и объемы распределения водопритоков по горизонтам в этажах Кочкарского подземного рудника, а также подземных рудников Гайско-го и Учалинского в зависимости от глубины горных работ (рис. 6).

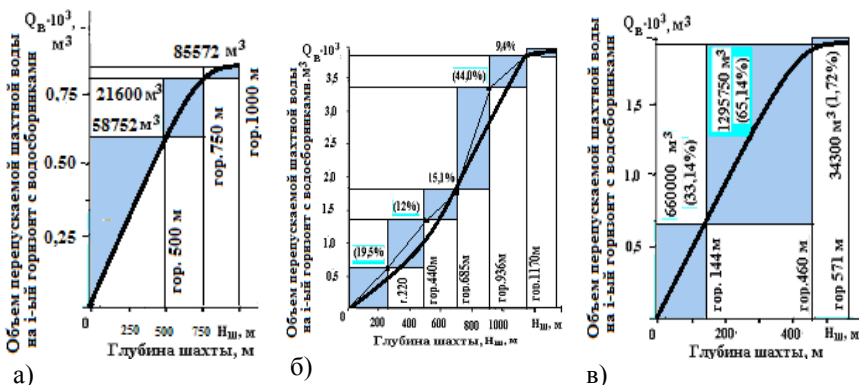


Рисунок 6 – Структура и распределение водопритоков по горизонтам на Центральном Кочкарском (а), Гайском (б) и Учалинском (в) подземных рудниках в зависимости от глубины горных работ

Полученное распределение показывает, что с увеличением глубины горных работ объемы перепускаемой шахтной воды возрастают, поэтому растут и возможности по их использованию для воспроизводства электроэнергии.

Предложена каскадная схема получения электроэнергии на гидроэнергетических установках (ГЭУ) малой мощности (рис. 7).

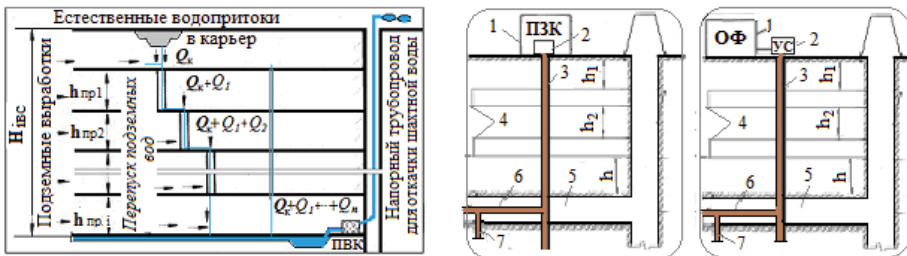


Рисунок 7 – Каскадная схема распределения ГЭУ малой мощности для преобразования энергии потоков шахтного водоотлива (а), твердеющей закладочной смеси (б), пульпы хвостов обогащения руд (в)

С учетом постоянных исходных и переменных расчетных параметров горно-технической системы определены характеристики параметров подачи смеси на гидротурбину для обеспечения наибольшего КПД и минимального износа гидротурбины проектируемой ГЭУ. Исследуемым параметром горно-технической системы является предпочтительная высота каскада для перепуска потоков гидросмесей и угол подачи смеси на приемные лопасти гидротурбины. По результатам исследований построены номограммы для оперативного определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности по параметрам рабочих зон при промышленном использовании ГЭУ, работающих на различных гидросмесях: шахтной воде, гидросмеси и твердеющей закладочной смеси (рис. 8).

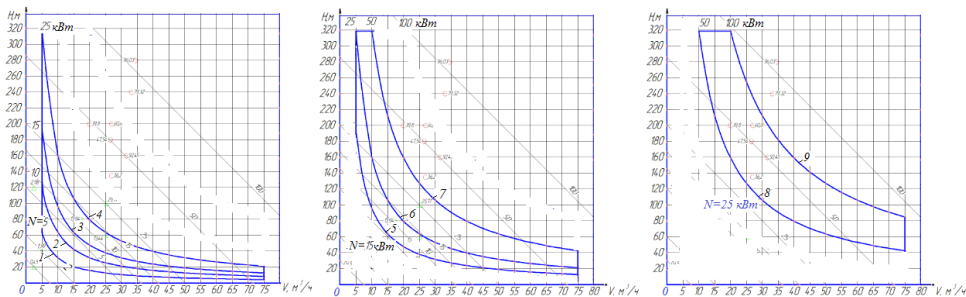


Рисунок 8 – Номограммы для определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности по параметрам рабочих зон при промышленном использовании ГЭУ, работающих из потоков:

- | | | |
|--|--|--|
| <p>а – шахтной воды плотностью ρ, кг/м³: 1010 (1), 1015 (2), 1030 (3), 1050 (4)</p> | <p>б – пульпы хвостов обогащения руд текущей пульпы плотностью ρ, кг/м³: 1340 (6), 1400 (7)</p> | <p>в – твердеющей закладочной смеси плотностью ρ, кг/м³: 1400 (8), 2000 (9)</p> |
|--|--|--|

Анализ конструкции гидротурбин показал, что для шахтных условий наиболее предпочтительными являются турбины лопастного, роторного, ковшевого, а также осевого типа (рис. 9). Такие конструкции турбин были изготовлены для испытаний на электромеханическом заводе ТОО «Энергоресурс» в г. Магнитогорске. Исследования проводились в опытно-промышленных условиях, приближенных к шахтным. В емкости размещались гидросмеси с различными характеристиками по вязкости, вещественному составу, плотности. Использовались электрогенераторы малой (до 100 кВт) мощности, размещенные на одной оси с гидротурбиной.

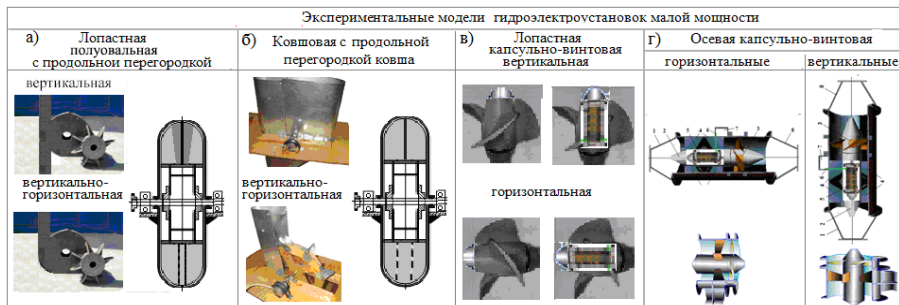


Рисунок 9 – Изготовленные для испытаний гидротурбины

Выполненные исследования позволили определить эффективную область применения турбин различных конструкций в зависимости от объемов перепускаемой гидросмеси на заданную высоту и область максимального КПД гидротурбин различной конструкции в зависимости от их быстроходности.

Опытные испытания подтвердили практическую возможность и выявили условия воспроизводства электроэнергии от техногенных источников на гидроэлектростановках малой мощности: наличие шахтной воды с соотношением (Т:Ж=20:80) и плотностью $\rho=1,17 \text{ т/м}^3$; гидравлической закладки на основе хвостов обогащения с соотношением (Т:Ж=30:70) и плотностью $\rho=1,28 \text{ т/м}^3$; сгущенной пульпы на основе хвостов обогащения с соотношением (Т:Ж=40:60) и плотностью $\rho=1,41 \text{ т/м}^3$; твердеющей закладочной смеси с соотношением (Т:Ж=60:40) и плотностью $\rho=1,79 \text{ т/м}^3$, установлены параметры горнотехнической системы: высота перепуска смеси 30 – 100 м, угол падения - 65 – 90°, при этом мощность генераторов определяется посредством установленных электромеханических характеристик.

Пятая глава. Разработана методика выбора и обоснование технологий комплексного освоения золоторудных месторождений на завершающей стадии отработки их балансовых запасов. Определены этапы технического перевооружения рудников на завершающей стадии отработки балансовых запасов. Установлены факторы, способствующие модернизации производства на завершающей стадии.

Для выбора приоритетного способа выемки запасов – селективной с последующей обработкой минерализованных зон или валовой с одновременной выемкой всех запасов камеры при различной контрастности содержания золота в жиле и минерализованных зонах, были рассмотрены различные варианты систем разработки. Эффективная мощность обрабатываемых камер определялась по зависимости:

$$M = \frac{m_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ср.ж}} + C_{\text{ср.прихв}}(m_{\text{отр.ж}} - m_{\text{ж}}) - C_{\text{ср.конд}} \cdot m_{\text{отр.ж}}}{C_{\text{ср.конд}} - C_{\text{ср.прокв}}}, \text{ М,}$$

где $m_{\text{ж}}$ - мощность золоторудной жилы, м; $C_{\text{ср.ж}}$ - среднее содержание полезного компонента по жиле, г/т; $C_{\text{ср.прихв}}$ - среднее содержание полезного компонента в прихватываемых с обрабатываемой кварцевой жилой породах, г/т; $m_{\text{отр.ж}}$ - выемочная мощность с учетом вовлечения вмещающих пород, м; $C_{\text{ср.конд}}$ - минимальное кондиционное содержание полезного компонента в руде, г/т; $C_{\text{ср.прокв}}$ - среднее содержание полезного компонента в минерализованных породах, г/т.

В расчетной модели были учтены параметры вариантов систем разработки, затраты на валовую и селективную выемку при различных вариантах систем и показатели извлечения золота при последующей переработке в зависимости от содержания золота в рудной массе (рис. 10).

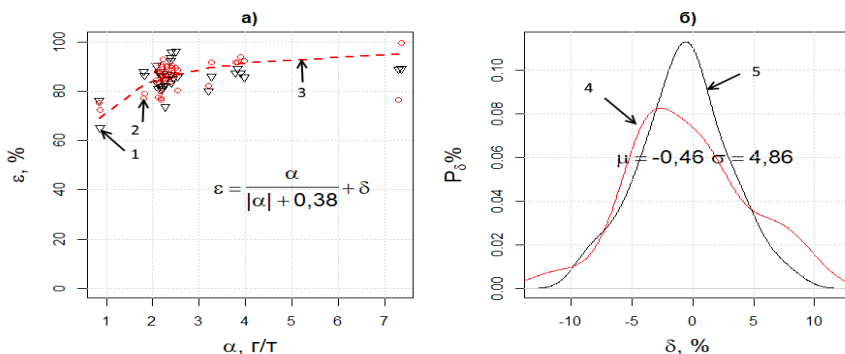


Рисунок 10 – Регрессионная модель зависимости показателей извлечения золота при выщелачивании от содержания золота в руде (а): 1 – данные наблюдений; 2 – сгенерированные с помощью модели данные; 3 – график регрессионной модели; плотность распределения ошибки регрессионной модели (б): 3 – по данным наблюдений; 4 – сгенерированные результаты

Сравнение предпочтительности селективной по отношению к валовой выемке производилось по методу Монте-Карло, который включал в себя определение массы извлекаемого золота на 1 т добываемой рудной массы на этапе добычи руд и переработки рудной массы и учет затрат на подготовку, добычу, переработку при указанных способах выемки, а также ущерб от потерь и разубоживания руды.

Расчеты производились на основе представленного на рис. 11 алгоритма. Данный эксперимент предполагал генерацию исходных значений содержаний золота в жилах и прилегающих к ним минерализованным зонам, их комбинацию, генерацию показателя извлечения для каждой комбинации содержания золота в жиле и прилегающих породах при изменении их мощности с расчетом по каждому варианту удельной массы извлекаемого золота. Разработанный алгоритм реализовывался в модели до 100 раз, и для каждой комбинации содержаний золота в жиле и минерализованных породах рассчитывалась вероятность того, что масса извлекаемого золота в селективном варианте добычи будет больше массы при валовой выемке, а также вероятность того, что при селективном варианте добычи прибыль будет выше, чем при валовой выемке.

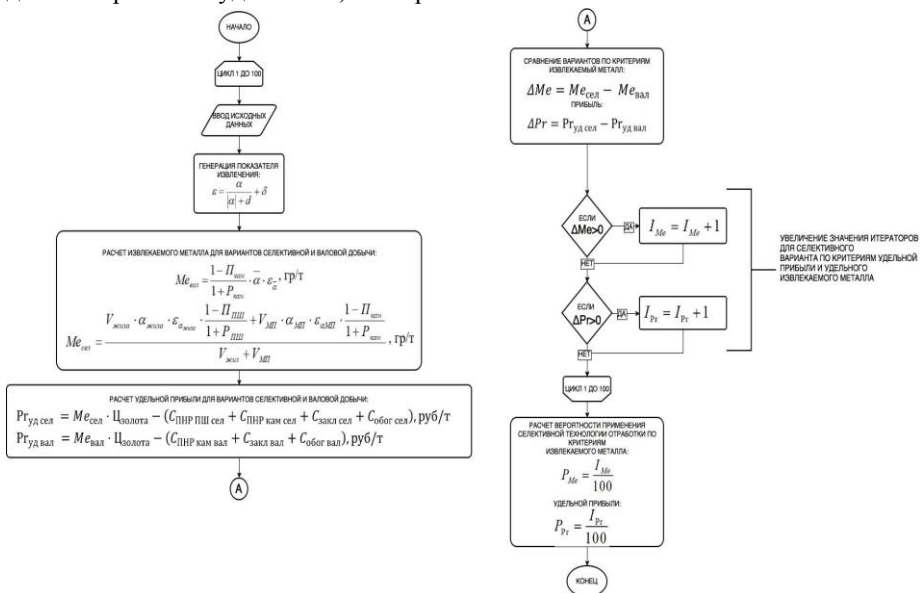


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма расчета вероятности (P_{Me} и P_{Pr}) по методу Монте-Карло предпочтительности селективной отработки в сравнении с валовой

Установлено, что при существующей на завершающей стадии отработки Кочкарского месторождения контрастности содержания золота в жилах и прилегающих минерализованных зонах и мощности жил до 1 м, предпочтительна валовая выемка рудной массы. Селективная выемка целесообразна только при контрастности содержания выше 8, мощности жилы $m > 1,5$ и мощности минерализованных зон $m < 10$ м.

Выбор приоритетной логистической схемы предложено производить на основе разработанной экономико-математической модели по минимуму эксплуата-

ционных затрат с учетом условий разработки месторождения, качества добытой рудной массы и продолжительности и характеристик трассы ее доставки к месту последующей переработки.

Выполнено сравнение вариантов перехода на самоходный колесный транспорт по специально пройденному и пущенному уже в этом году автосъезду и автомобильно-конвейерного транспорта с выдачей рудной массы по конвейерному уклону. Также было оптимизировано плечо откатки на поэтажных выработках до рудоспусков.

Результаты экономических расчетов для условий разработки Кочкарского месторождения, на горизонтах до 470 м и при объемах добычи до 1,5 млн. т выявили предпочтительность логистической схемы с применением автотранспорта по цикличной технологии. Однако, при углублении месторождения до 1000 м и увеличении объемов добычи до 5 млн. т более целесообразным вариантом логистической схемы является схема, основанная на циклично-поточной технологии.

В шестой главе выполнена технико-экономическая оценка и представлены рекомендации по обеспечению рентабельности на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала. Общий экономический эффект от внедрения результатов исследований на предприятиях АО «ЮГК» (1956 млн. руб.) достигнут за счет:

- реструктуризации георесурсов;
- перехода на крупномасштабную добычу руды;
- совершенствования систем разработки;
- модернизации схемы вскрытия и логистической схемы рудника;
- отказа от централизованной схемы поставки электроэнергии и перехода на получение собственной электроэнергии, в том числе от возобновляемых технологий источников;
- повышения энергоэффективности добычи руды и ресурсовоспроизводства.

Выполненными исследованиями доказано, что многогранность, многофункциональность и, по сути, неисчерпаемость недр Земли обуславливают возможность многоэтапного длительного использования их многообразных ресурсов. Поэтому для горного предприятия завершающая стадия может и предпочтительно должна являться стадией поэтапного и условно неопределенно длительного развития с вовлечением на каждом из этапов нового вида георесурсов в полезное эффективное использование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена крупная научная проблема обоснования параметров горнотехнических систем на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала, что имеет важное социально-

экономическое значение для развития не только Уральского региона, но и других крупных горно-промышленных регионов России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Впервые обоснована идея, что при доработке балансовых запасов коренных золоторудных месторождений крупного золотопромышленного региона достигим переход на качественно новую стадию комплексного освоения участка недр на базе модернизации производства, повышения производственной мощности рудников, энергоэффективности с обеспечением экологической безопасности горных работ. Доказано, что продление периода эффективной эксплуатации месторождений на завершающей стадии освоения балансовых запасов достигается за счет вовлечения в разработку руд, оставленных при первичной добыче в целиках различного назначения, минерализованных зонах в висячем и лежащем блоках золотоносных жил; залежей глубоких горизонтов, расположенных в зоне концентрации тектонических субгоризонтальных и гравитационных вертикальных напряжений; техногенного золотосодержащего сырья, накопленного за многолетний период эксплуатации месторождений в хвостохранилищах.

2. Дано развитие научно-методических основ формирования энергоэффективных подземных горнотехнических систем на завершающих стадиях освоения рудных месторождений. Обоснована концепция освоения месторождений на завершающих стадиях эксплуатации, включающая реструктуризацию запасов и компенсацию влияния негативных факторов при доработке месторождения за счет внедрения ресурсосберегающих и энергоэффективных геотехнологий. Расширена классификация георесурсов недр Земли за счет включения новой группы георесурсов – источников возобновляемой энергии при техногенном преобразовании недр. Разработана систематизация ресурсосберегающих и энергоэффективных горнотехнических систем подземной разработки жильных месторождений. Доказано, что сьем и преобразование энергии потоков гидросмесей способны обеспечить 5-30% потребляемой подземными рудниками Южного Урала электроэнергии.

3. Впервые выполнена комплексная геомеханическая оценка массивов золоторудных месторождений Южного Урала на завершающей стадии их эксплуатации и оценено напряженно-деформированное состояние массивов горных пород, сложившееся за длительную историю их отработки. Установлено, что завершающая стадия эксплуатации месторождений характеризуется сложными условиями разработки и требует применения новых подходов к проектированию горнотехнических систем. Установлено, что на наиболее представительном Кочкарском месторождении измеренные величины вертикальной компоненты напряжений на верхних горизонтах (до 300 м) на 30-

70% превышают значения расчетных величин, определяемых весом налегающей толщи пород, что объясняется влиянием выработанных пространств очистных и обрушением пород на вышележащих горизонтах, а также большой изрезанностью Кочкарского рудного поля тектоническими нарушениями различного рода; при этом максимальные сжимающие напряжения σ_x преимущественно направлены субмеридионально, вкрест простирания геологических структур, и составляют $1.2\gamma H$, а σ_y - $1.4\gamma H$. Поэтому вовлечение минерализованных зон месторождения в эксплуатацию на верхних горизонтах (до 300 м) системами разработки с повышенным пролетом камер не ухудшает геомеханического состояния массива. Так, при увеличении ширины камеры с 2 до 14 м максимальные горизонтальные напряжения в нижней части потолочины снижаются с 110 до 60 МПа.

4. Доказано, что увеличение глубины ведения горных работ приводит к росту напряжений в конструктивных элементах систем разработки; при этом увеличение ширины камер не вызывает рост нормальных напряжений в массиве на контуре выработанных пространств, что объясняется перераспределением напряжений в массиве и развитием экранирующего эффекта. Отработка камерами запасов на глубоких горизонтах (ниже 500 м) ведет к концентрации и росту вертикальной составляющей напряжений σ_z до $1.35 - 1.8\gamma H$, и горизонтальных σ_x и σ_y , соответственно, до 2,0 и 3,3 γH .

5. Изучены закономерности напряженно-деформированного состояния массива горных пород на глубоких горизонтах подземного рудника. Результаты моделирования свидетельствуют, что при отработке запасов глубоких горизонтов рудная потолочина остается нагруженной, как со стороны висячего, так и лежачего боков. В отработанной увеличенной до 14 м ширине камеры повышенные напряжения формируются в кровле и почве камеры, но значения их ниже на 5-10 % при системах разработки с закладкой выработанного пространства. Сжимающие напряжения снижаются и принимают значения в 1,4 - 1,7 раза меньше, чем значения напряжений в соответствующих точках до закладки камер. Растягивающие напряжения в висячем и лежачем боках после закладки принимают характер сжимающих (30 МПа). Доказано, что переход на восходящую выемку с закладкой камер сгущенной пульпой хвостов обогащения обеспечивает более устойчивое состояние массива на обнажениях.

6. Испытания подтвердили практическую возможность и выявили условия воспроизводства электроэнергии от техногенных источников на гидроэлектростанциях малой мощности до 30 кВт. На основе выполненных исследований предложена методика определения воспроизводимой мощности и выбора ГЭУ малой мощности по параметрам рабочих зон в предпочтительного использования того или иного типа гидротурбин для конкретных условиях. Доказано возможность получения в шахтных условиях возобновляемой энергии

от потоков гидросмесей: шахтной воды, гидравлической закладки на основе текущих и сгущенных хвостов обогащения, твердеющей закладочной смеси с учетом вещественного состава, плотности и вязкости определяется установленными параметрами горнотехнической системы: высота одноступенчатого перепуска смеси 30 – 100 м, угол падения гидросмеси на турбину - 65 – 90°.

7. В ходе комплексных геолого-маркшейдерских исследований установлено, что на ранее отработанных горизонтах рудников Кочкарского месторождения имеются перспективные запасы жил и минерализованных пород, по величине и условиям пригодные для освоения. Установлены закономерности извлечения золота при переработке рудной массы цианированием на ФЗЦО в зависимости от содержания золота в ней, а также зависимости затрат на переработку от массы извлекаемого золота на 1 т добываемой руды на этапе добычи и переработки при селективной и валовой выемке с учетом ущерба от потерь и разубоживания руды. Оценена предпочтительность применения селективной выемки в зависимости от контрастности содержания золота в жиле и прилегающих минерализованных зонах по фактору максимума прибыли и максимума извлечения золота. Доказано, что на завершающей стадии подземной отработки жильных золоторудных месторождений селективная выемка целесообразна только при контрастности содержания выше 8, мощности жилы $m > 1,5$ и мощности минерализованных зон $m < 10$ м.

8. Анализ экономической эффективности добычи руды при объеме в 5 млн. т и углублении Кочкарского месторождения до 1000 м показал, что при валовой выемке и циклично-поточной технологии транспортирования себестоимость добычи составляет 15,96 \$/т, что на 16% ниже, чем при использовании цикличной технологии транспортирования рудной массы. В целом, результаты экономических расчетов для условий разработки Кочкарского месторождения, показали, что на горизонтах до 470 м и при объемах добычи до 1,5 млн. т эффективным вариантом логистической схемы является схема, основанная на цикличной технологии с применением автотранспорта. Однако, при углублении месторождения до 1000 м и увеличении объемов добычи до 5 млн. т, более целесообразна циклично-поточная технология на основе автомобильно-конвейерного транспорта.

9. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности геотехнологий разработки запасов Кочкарского месторождения. Общий годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 1956 млн. руб. Экономический эффект в размере 175,4 млн. руб. в год достигнут за счет: снижения затрат на внутренний транспорт при внедрении новой логистической схемы транспортировки руды с переходом на самоходную технику, что привело к снижению себестоимости добычи руды на 13,9%; сокращения затрат на потребляемую энер-

гию на 26% за счет перехода на использование возобновляемых источников энергии, экономический эффект составил 35 млн. руб. в год; развития технологии добычи и переработки руд из Светлинского месторождения обеспечило сокращение потребляемой энергии на 27%, снижение затрат на транспортировку руды на 1,2% и в целом себестоимости добычи руды на Светлинском месторождении на 2,4%, что обеспечило годовой экономический эффект 54,6 млн. руб.; сокращение экологических платежей на 77% за счет внедрения технологии закладки выработанного пространства отходами обогащения, что дало годовой экономический эффект 3,2 млн. руб.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России:

1. Струков, К.И. Опыт и перспектива разработки сложноструктурных жил Кочкарского месторождения / В.Н. Калмыков, И.Т. Слащилин, В.С. Сураев, К.И. Струков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №1. – С.180-182.
2. Струков, К.И. Предпосылки повторной разработки Кочкарского золоторудного месторождения / К.И. Струков, М.В. Емельяненко, И.Т. Слащилин, О.А. Котлярова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №8. – С. 152-153.
3. Струков, К.И. К вопросу совершенствования параметров очистной выемки жильных месторождений Урала / К.И. Струков, И.Т. Слащилин, В.В. Котляров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №8. – С.154-156.
4. Струков, К.И. Оценка напряженного состояния массива горных пород Кочкарского золоторудного месторождения / К.И. Струков, М.В. Емельяненко, П.В. Казиллов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 4. – С. 163-165.
5. Струков, К.И. Разработка технологии повторного освоения запасов верхних горизонтов Кочкарского золоторудного месторождения / В.Н. Калмыков, К.И. Струков, Г.П. Константинов, Р.В. Кульсаитов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 14. – № 3. – С. 13-20.
6. Струков, К.И. Совершенствование технологий переработки золотоносных руд на обогатительных фабриках ЮГК / К.И. Струков, С.Н. Плотников, Ю.Л. Николаев, П.Г. Пацкевич // Цветные металлы. – 2017. – № 6. – С. 29-34.
7. Струков, К.И. Выбор способов переработки золото-мышьяковистых руд новотроицкого месторождения с учетом их технологических особенностей / К.И. Струков, С.Н. Плотников, Л.А. Зырянова, Ю.Л. Николаев // Цветные металлы. – 2017. – № 6. – С. 35-40.
8. Струков, К.И. Развитие технологий разработки месторождений золотоносных руд на предприятиях АО «Южуралзолото Группа Компаний» / К.И.

- Струков, В.В. Федосеев, Р.В. Бергер, М.В. Рыльникова // Горный журнал. – 2017. – № 6. – С. 5-8.
9. Струков, К.И. АО «Южуралзолото Группа Компаний» - 20 лет: развитие технологий освоения месторождений золотоносных руд на рудниках / К.И. Струков, В.В. Федосеев, М.В. Рыльникова, Р.В. Бергер // Горная промышленность. – 2017. – № 3 (133). – С. 12-15.
 10. Струков, К.И. Опыт внедрения технологии кучного выщелачивания золота на рудниках «Куросан», «Светлинский» и «Березняковский» / К.И. Струков, С.Н. Плотников, И.Е. Плотникова, Ю.Л. Николаев // Цветные металлы. – 2017. – №9. – С. 46-52.
 11. Струков, К.И. Технология горно-обогатительного производства на предприятиях АО «Южуралзолото Группа Компаний» / К.И. Струков, Р.В. Бергер // Горный журнал. – 2017. – № 9. – С. 11-15.
 12. Струков, К.И. Совершенствование технологии подземной добычи на Кочкарском месторождении / Струков К.И. // Горный журнал. – 2017. – № 9. – С. 21-25.
 13. Струков, К.И. Перспективы применения и оценка параметров энергоэффективных геотехнологий при комплексном освоении месторождений / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, В.В. Олизаренко, И.С. Туркин // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 71-76.
 14. Strukov, K. I. Geomechanical features of underground mining at Kochkar deposit / V.N. Kalmykov, K.I. Strukov, R.V. Kulsaitov, E.N. Esina // Eurasian mining. – 2017. – №2. – pp. 8-11.
 15. Peculiarities of technological development at the closing stage of mining of proven reserves / M.V. Rylnikova, K.I. Strukov // Eurasian mining. – 2017. – №2. – pp. 12-15.
 16. Струков, К.И. Методы проектного финансирования инвестиционных технологий в сфере недропользования / М.В. Рыльникова, И.А. Пыталев, К.И. Струков, И.А. Трушина // Горный журнал. – 2018. – № 2. – С. 5-8.

Монографии

1. Струков, К.И. Технологические схемы и процессы получения возобновляемой энергии при комплексном освоении месторождений твердых полезных ископаемых / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, И.С. Туркин // М.: ИПКОН РАН. – 2018. – 256 с.
2. Струков, К.И. Проектное финансирование совокупного использования природных и техногенных ресурсов / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, И.А. Пыталев, И.А. Трушина // М.: ИПКОН РАН. – 2018. – 146 с.

В прочих изданиях

1. Струков, К.И. Применяемые системы разработки и их показатели при отработке жильных месторождений / К.И. Струков, Н.А. Астахова, О.А. Котлярова // Разработка мощных рудных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск. – 1999. – С.37-41.
2. Струков, К.И. Использование отходов химических производств в составах закладочных смесей на основе хвостов обогащения / И.Т. Слацилин, Л.Г. Савинчук, К.И. Струков // Разработка мощных рудных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск. – 1999. – С.57- 62.

3. Струков, К.И. Первоначальное напряженное состояние массива горных пород Кочкарского золоторудного месторождения / К.И. Струков, И.Т. Слащилин // Проблемы и перспективы развития подземной геотехнологии в XXI веке: Материалы Международн. конф. – Екатеринбург. – УГГГА. – 2001. – С.161-165.
4. Струков, К.И. Определение производительности процесса доставки руды при отработке жильных месторождений / К.И. Струков, П.В. Казилов, И.Т. Слащилин, А.П. Гнедых // Освоение мощных рудных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск. – 2003. – С.85- 88.
5. Струков, К.И. Основные задачи и перспективы проектирования экологически сбалансированных геотехнологий при освоении месторождений многокомпонентных руд и углей Южного Урала / К.И. Струков // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Тезисы докладов II Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. – Москва. – 2016. – С. 276-278.
6. Струков, К.И. Комплексная система мониторинга - путь к созданию энергоэффективных экологически сбалансированных геотехнологий освоения месторождений многокомпонентных руд Южного Урала / К.И. Струков, П.Г. Пацкевич, К.И. Никифоров // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 13 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – Москва. – 2016. – С. 135-138.
7. Струков, К.И. Проблемы технологического развития рудников на завершающей стадии освоения золоторудных месторождений и пути их решения / К.И. Струков, М.В. Рыльникова // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность. IX международная конференция. – Магнитогорск. – 2017. – С. 37-40.
8. Струков, К.И. Методика оценки энергетического потенциала вспомогательных потоков гидросмеси на подземных рудниках / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, В.В. Олизаренко, А.А. Зубков // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность. IX Международная конференция. – Магнитогорск. – 2017. – С. 121-125.
9. Струков, К.И. Исследование закономерностей получения возобновляемой энергии в ходе реализации геотехнологических процессов при освоении Кочкарского золоторудного месторождения / М.В. Рыльникова, К.И. Струков // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность. IX Международная конференция. – Магнитогорск. – 2017. – С. 125-126.
10. Струков, К.И. Обеспечение экологической безопасности регионов горно-металлургического комплекса на завершающей стадии освоения балансовых запасов месторождений / М.В. Рыльникова, К.И. Струков // Научно-техническая конференция «Проблемы экологической безопасности предприятий горно-металлургического комплекса и моногородов». – Магнитогорск. – 2017. – С. 64-70.
11. Струков, К.И. Экологическая эффективность геотехнологических решений на завершающей стадии подземной добычи руд / М.В. Рыльникова, К.И. Струков // Проблемы и решения в экологии горного дела. – Москва. – 2017. – С. 146-152.
12. Струков, К.И. Обоснование параметров экологически безопасной техно-

- гии повторной отработки запасов Кочкарского золоторудного месторождения с учетом особенностей геомеханического состояния массива горных пород / К.И. Струков, Е.Н. Есина, Р.В. Кульсаитов // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2017. Материалы научно-практической конференции с международным участием. – Севастополь. – 2017. – С. 1302-1305.
13. Струков, К.И. Возобновляемые источники энергии при техногенном преобразовании недр земли: перспективные технологические решения / М.В. Рыльникова, К.И. Струков // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2017. Материалы научно-практической конференции с международным участием. – Севастополь. – 2017. – С. 1161-1165.
14. Струков, К.И. Обоснование условий утилизации хвостов обогащения золотосодержащих руд в закладке выработанного пространства для обеспечения промышленной и экологической безопасности освоения Кочкарского месторождения на больших глубинах / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, А.А. Гоготин // 50 лет российской научной школе комплексного освоения недр Земли. – Москва. – 2017. – С. 326-331.
15. Струков, К.И. Сравнение валовой и селективной выемки золотосодержащих руд Кочкарского месторождения на базе их геологического опробования / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, В.С. Лавенков, И.Л. Никифорова // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ. Материалы 3-й Международной научно-практической конференции. – Магнитогорск. – 2018. – С. 135-138.
16. Струков, К.И. Опытнo-промышленная апробация инновационной технологии воспроизводства энергии шахтных потоков / М.В. Рыльникова, К.И. Струков, И.С. Туркин // Современные инновационные технологии в горном деле и при первичной переработке минерального сырья. – Москва. – 2018. – С. 26-30.
17. Струков, К.И. Обоснование способа выемки золотосодержащих руд на жильных месторождениях Урала / К.И. Струков, И.Л. Никифорова, В.С. Лавенков // Современные инновационные технологии в горном деле и при первичной переработке минерального сырья. – Москва. – 2018. – С. 35-40.
18. Струков, К.И. Реструктуризация запасов жильных месторождений золота на завершающей стадии разработки как основа технического перевооружения / К.И. Струков, И.Л. Никифорова // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Доклады III Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. – Москва. – 2018. – С. 201-204.
19. Струков, К.И. Выбор логистической схемы подземного рудника на завершающей стадии освоения жильных золото-рудных месторождений / К.И. Струков, И.А. Пыталев, В.С. Лавенков // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Доклады III Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. – Москва. – 2018. – С. 216-220.
20. Струков, К.И. Специфика технического оснащения процессов воспроизводства электроэнергии при преобразовании энергии потоков шахтных гидромесей / К.И. Струков, И.С. Туркин, А.А. Бондаренко // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Доклады III Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. – Москва. – 2018. – С. 248-251.