

*На правах рукописи*



**МАЖИТОВ АРТУР МАРАТОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНОЙ  
ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ДОРАБОТКЕ РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫМ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЯ  
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

**А в т о р е ф е р а т**

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  
**Пыталев Иван Алексеевич**

**Официальные оппоненты:** **Соколов Игорь Владимирович**  
доктор технических наук, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, директор  
**Кузьмин Евгений Викторович**  
доктор технических наук, профессор, ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» ГК Росатом, г. Москва, главный специалист  
**Неверов Сергей Алексеевич**  
доктор технических наук, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, заведующий лабораторией подземной разработки рудных месторождений

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

Защита диссертации состоится «22» сентября 2022 г. в 13<sup>00</sup> 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, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

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»: <https://magtu.ru>.

Автореферат разослан « » июля 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



Корнилов Сергей Николаевич

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы.**

Современное состояние подземных горных работ характеризуется усложнением горно-геологических условий, связанных с ведением горных работ на больших глубинах, снижением качества руд, сложным напряженно-деформированным состоянием горного массива, отработкой запасов под охраняемыми объектами, высокой производственной мощностью рудников и, как следствие, ростом себестоимости добычи. В связи с увеличением потребления минерально-сырьевых ресурсов и снижением содержания полезных компонентов, горнодобывающие предприятия вынуждены увеличивать производственную мощность для обеспечения плановых показателей по товарному металлу. Согласно прогнозу экспертов, расширение сырьевой базы российских и зарубежных предприятий будет обеспечиваться за счет вовлечения в отработку ранее забалансовых запасов и некондиционных руд, в том числе на этапе доработки месторождений, что продлит срок их эксплуатации.

Только в Уральском регионе увеличение объемов добытой руды путем вовлечения в отработку забалансовых запасов на ряде горнодобывающих предприятий составляет в весовом выражении до 9,5 раз для золоторудных, 2,5 – медноколчеданных и 1,3 – железорудных месторождений от балансовых запасов. При этом, в связи с развитием технологий обогащения, в переработку вовлекаются руды с содержанием: золота от 0,1 г/т, меди – 0,2 % при извлечении основных металлов до 95 %. По данным государственного комитета по запасам, количество металлов, содержащееся в забалансовых запасах месторождений России, составляет по золоту более 6 тыс. т, по меди – 25 млн. т и железу – 50 млрд. т. Сегодня возможность вовлечения данных запасов в эффективное освоение обеспечивается за счет совершенствования и оптимизации параметров схем вскрытия, систем разработки, процессов очистной выемки и других технологических операций и осуществляется преимущественно на этапе доработки балансовых запасов. Однако, данные направления фактически достигли своих предельных возможностей и не имеют потенциала для дальнейшего развития при освоении запасов с более низкими качественно-количественными характеристиками. В практике подземных горных работ имеются решения для целенаправленного воздействия на массив горных пород с целью обеспечения эффективной доработки запасов отдельных рудных тел и участков. Эти решения носят локальный характер и не обеспечены научно-методической базой. Поэтому значительный объем забалансовых запасов не вовлекается в разработку, вследствие технологических ограничений применяемых систем разработки, связанных с характеристиками массива горных пород, таких как состояние, структура и свойства, которые определяют эффективность разработки балансовых и забалансовых запасов.

Реализация вариантов подземной геотехнологии, базирующихся на техногенном изменении массивов горных пород, обеспечивает расширение минеральной базы действующих горных предприятий. При этом существующие методы и способы освоения запасов месторождения основаны преимущественно на минимизации негативных последствий изменения свойств массива горных пород и адаптации к базовым горно-геологическим и горно-техническим условиям месторождения, что не способствует повышению

полноты освоения недр. Имеющийся опыт вовлечения в отработку забалансовых запасов предопределяет необходимость развития научно-методической базы подземной геотехнологии, позволяющей своевременно подготавливать массив горных пород к разработке путем его техногенного преобразования с целью управляемого изменения его свойств и состояния.

Поэтому обоснование параметров подземной геотехнологии при доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием свойств и состояния массива горных пород, обеспечивающих создание благоприятных горно-технических условий для эффективного освоения ранее забалансовых запасов и некондиционных руд, является актуальным для развития горнодобывающей отрасли страны.

**Целью работы** является обоснование условий и параметров технологических способов целенаправленного преобразования свойств и состояния массива горных пород для повышения полноты освоения рудных месторождений на стадии их доработки в сложных горно-геологических, горно-технических и геомеханических условиях.

**Идея работы** заключается в том, что повышение полноты доработки запасов рудных месторождений достигается за счет применения совокупности технологических способов своевременного целенаправленного изменения напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик массива горных пород, вовлекаемого в разработку участка недр.

**Задачи исследования:**

– анализ и обобщение опыта техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород при освоении рудных месторождений подземным способом, оценка динамики техногенного изменения горно-геологических и горно-технических условий дорабатываемых участков и специфики геомеханического состояния массива горных пород при доработке запасов;

– определение особенностей и закономерностей изменения свойств и состояния массива горных пород при доработке запасов в сложных горно-геологических, горно-технических и геомеханических условиях;

– разработка принципов и способов техногенного преобразования массивов горных пород для эффективной доработки запасов рудных месторождений;

– разработка вариантов подземной геотехнологии доработки рудных месторождений в сложных горно-геологических, горно-технических и геомеханических условиях, основанных на техногенном преобразовании свойств и состояния массивов горных пород для повышения полноты и обеспечения безопасной доработки рудных месторождений;

– разработка технологических рекомендаций по техногенному преобразованию свойств и состояния массива горных пород для эффективной и безопасной доработки рудных месторождений и оценка их экономической эффективности.

**Объект исследования** – технология преобразования характеристик массива горных пород для эффективной и безопасной доработки запасов рудных месторождений, находящихся в сложных горно-геологических, горно-

технических и геомеханических условиях, а также запасов, отнесенных ранее к забалансовым, при вовлечении их в отработку технологиями, существующими в период составления ТЭО кондиций.

**Предмет исследования** – параметры геотехнологии преобразования свойств и состояния массива горных пород для обеспечения условий вовлечения в эффективную отработку ранее забалансовых запасов, находящихся в сложных горно-технических и геомеханических условиях.

**Методы исследования.** Использован комплексный метод, включающий анализ и обобщение опыта освоения рудных месторождений подземным способом и особенностей горно-геологических и горнотехнических условий; лабораторные и натурные испытания физико-механических характеристик руд и пород; визуальные и инструментальные методы оценки состояния, строения, свойств и состава массива горных пород; натурные замеры напряжений методом щелевой разгрузки; геомеханическое моделирование состояния массива горных пород методом конечных элементов; опытно-промышленные эксперименты по управлению напряженно-деформированным состоянием массива путем локальной разгрузки и изменения порядка отработки; экономико-математическое моделирование и технико-экономическая оценка результатов исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Повышение полноты освоения рудных месторождений достигается вовлечением в разработку ранее забалансовых руд своевременным целенаправленным изменением прочностных и деформационных характеристик, структуры рудного и породного массивов и формированием благоприятных горно-технических условий путем применения совокупности технологических мер: изменения направления и порядка выемки запасов, создания опережающего компенсационного пространства, отбойки массива горных пород в зажатой среде, формирования искусственных массивов и использования систем разработки с различными способами управления состоянием массива горных пород.

2. Вовлечение в освоение ранее забалансовых запасов, подрабатываемых в процессе освоения промышленных запасов, обеспечивается заблаговременным повышением степени их подготовленности к разработке путем проведения дополнительного комплекса горных работ и формирования требуемой структуры массива за счет определения порядка опережающей отработки запасов, региональных и локальных методов разгрузки, обоснования форм и размеров сечения подземных выработок.

3. При высокой нарушенности вмещающих пород и сложной морфологии рудных залежей, вовлечение их в разработку обеспечивается локализацией ослабленных участков в приконтактной зоне путем очистной выемки запасов и последующим замещением выработанного пространства закладочным массивом с созданием изолирующей горной конструкции, позволяющей вести доработку ослабленных участков под ее защитой камерными системами разработки, параметры которой рассчитываются исходя из свойств техногенно измененного мас-

сива горных пород, обеспечивающих безопасную отработку ранее забалансовых запасов в измененных геомеханических условиях.

4. Повышение полноты освоения участка месторождения, обрабатываемого камерной системой разработки в условиях неустойчивых вмещающих пород, обеспечивается переводом в устойчивое состояние массива из сыпучих пород путем их упрочнения твердеющими смесями с последующим уплотнением закладочного материала взрыванием зарядов в зажимающей среде, при отработке запасов наклонными камерами, для достижения требуемых прочностных характеристик природно-техногенного массива.

5. Освоение запасов природного и техногенного участков недр, характеризующихся чередованием массивов устойчивых и структурно нарушенных зон, невыдержанным содержанием ценных компонентов, достигается избирательным применением систем подземной разработки разных классов с реализацией мероприятий по управлению напряженно-деформированным состоянием рудного массива путем задания направления развития фронта очистных работ для формирования зон повышенной концентрации опорного давления на участке обрушения и разгрузки массива горных пород в кровле обрабатываемой камеры.

**Достоверность результатов** обеспечивается: надежностью и представительным объемом исходных данных; использованием современных программных средств при разработке и проведении компьютерного моделирования; широкой апробацией результатов исследований на рудниках по добыче руд черных и цветных металлов; подтверждается согласованностью между собой данных, полученных различными методами исследования, с данными практики; положительными результатами применения научно-методических положений диссертации при промышленной апробации разработанных технологических решений на рудниках Урала.

### **Научная новизна:**

1. Принцип создания благоприятных горно-технических условий для доработки ранее забалансовых запасов путем целенаправленного преобразования свойств и состояния горного массива за счет применения совокупности научно-обоснованных технологических решений: региональных и локальных методов разгрузки массива горных пород, обеспечивающих регулируемое перераспределение зон концентрации напряжений.

2. Систематизация способов преобразования свойств и состояния горного массива, разработанная на основе избирательного использования эффективных воздействий на массив пород, реализация которых обеспечивает получение требуемых геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик участка недр.

3. Установлены зависимости мощности изолирующего целика ( $m$ ) в условиях сильнотрещиноватых массивов от прочности искусственного массива ( $\sigma$ ) в виде полинома  $m = 0,3571\sigma^2 - 3,8829\sigma + 15,52$ , а также ширины барьерного целика ( $a$ ) от его высоты ( $h$ ), протяженности зоны обрушения ( $B$ )

и глубины разработки ( $H$ ) в виде степенной функции  $a = 0,07h^{0,33}(BH)^{0,66}$ , при переходе от технологии с обрушением руды и вмещающих пород к технологии с закладкой выработанного пространства.

**Личный вклад автора** состоит в постановке цели и задач исследования; проведении теоретического анализа и определении особенностей состояния, строения, свойств и состава геологических запасов и массива горных пород участка недр при освоении рудных месторождений; обосновании параметров подземной геотехнологии с формированием заданных состояний, строения, свойств и состава массива горных пород на каждом этапе эксплуатации месторождения; обосновании методологических принципов проектирования подземных горных работ с управляемым техногенным преобразованием участка недр при доработке месторождения; разработке алгоритмов выбора и порядка применения систем разработки с заданными технологическими характеристиками; проведении опытно-промышленных испытаний.

**Практическая значимость** диссертации состоит в разработке подземной геотехнологии и обосновании ее параметров на основе предварительного техногенного преобразования свойств и состояния горного массива, обеспечивающих полноту отработки запасов и интенсификацию горных работ на медно-колчеданных и золоторудных месторождениях; в разработке и оценке технологических решений по обеспечению рентабельности эксплуатации рудных месторождений с управляемым техногенным преобразованием массива горных пород.

#### **Реализация результатов исследования:**

Результаты и научно-практические рекомендации диссертации использованы в технических проектах разработки месторождений Камаганское, Новый Сибай, Весене-Аралчинское, Джусинское, Приморское, Кочкарское. Эффективность разработанных технологий подтверждена актами внедрения.

Также основные научные положения и практические решения диссертации использованы в научно-методическом обеспечении учебного процесса по дисциплинам: «Проектирование рудников», «Процессы подземной разработки рудных месторождений», «Системы разработки рудных месторождений» специальности 21.05.04 – Горное дело, «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Всемирном горном конгрессе (г. Астана, 2018 г.), Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2016 г., 2017 г.), Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (г. Екатеринбург, 2017 г., 2018 г.), Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (г. Бишкек, 2015 г.), Международной научно-практической конференции «Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ» (г. Магнитогорск, 2015 г., 2018 г.), Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2015 г., 2017 г., 2019 г., 2021 г.), Международном форуме «Эффективность и безопасность гор-

нодобывающей промышленности» (г. Челябинск, 2018 г.), Молодежном научно-практическом форуме «Горная школа» (г. Владивосток, 2015 г.).

### **Публикации**

Основные положения диссертации опубликованы в 48 научных работах, из них: 15 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 6 – в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 19 – в прочих изданиях; 5 учебных пособий и 2 монографии, а также зарегистрирован 1 патент на изобретение.

### **Объём и структура диссертации**

Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 310 страницах машинописного текста, содержит 144 рис., 18 табл., библиографический список из 248 наименований и 4 приложения.

Автор выражает благодарность научному консультанту, профессору, доктору технических наук Ивану Алексеевичу Пыталеву за помощь на всех этапах выполнения диссертации и искреннюю признательность член-корреспонденту РАН, профессору, доктору технических наук Давиду Родионовичу Каплунову, профессору, доктору технических наук Калмыкову Вячеславу Николаевичу и профессору, доктору технических наук Рьльниковой Марине Владимировне за значимые замечания и важнейшие советы при проведении исследования, а также всему коллективу кафедры разработки месторождений полезных ископаемых за внимание, оказанное научной работе.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

*В первой главе* обобщен опыт и обоснованы направления предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород при освоении рудных месторождений подземным способом.

В современных условиях интенсивное ведение горных работ приводит к сокращению сроков освоения существующей минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов. Ситуация усугубляется постоянным снижением качества вовлекаемых в эксплуатацию полезных ископаемых и ростом удельных затрат на разработку месторождений. Сохранение минерально-сырьевой базы обеспечивается компенсацией погашаемых запасов за счет вовлечения в разработку бедных, некондиционных руд и ранее забалансовых запасов, как правило, находящихся в особосложных горно-геологических, геомеханических и горно-технических условиях.

Обеспечение заданной производительности по объему получаемого концентрата, при снижении содержания полезного компонента, горнорудными предприятиями достигается либо совершенствованием технологий обогащения, обеспечивающих максимальное извлечение металла, либо увеличением производственной мощности рудника по руде. В части развития обогатительного передела достигнут высокий уровень, что подтверждается вовлечением в переработку руд с содержанием золота до 0,1 г/т, меди до 0,2 % при извлечении до 95 %. Обеспечение работы фабрик рудой с низким содержа-



нием полезного компонента требует постоянного совершенствования технологии подземных горных работ при снижении капитальных и эксплуатационных затрат на добычу.

Анализ работы предприятий, ведущих разработку месторождений подземным способом, показал, что, в ряде случаев, адаптация конструкций и параметров системы разработки к сложившимся на этапе доработки горно-техническим условиям позволяет обеспечить вовлечение в разработку забалансовые запасы и некондиционные руды в объеме 20 – 140 % от общего объема запасов месторождения. При этом вовлечение в разработку запасов бедных руд на стадии доработки месторождения ведет к снижению эффективности ведения горных работ, повышению эксплуатационных затрат при снижении качества и товарной ценности руды.

Совершенствованию, оптимизации и обоснованию параметров подземной геотехнологии для обеспечения полноты и комплексности освоения запасов месторождения посвящены труды ведущих отечественных ученых: академиков М.И. Агошкова, О.А. Байконурова, М.В. Курленя, член-корреспондентов РАН Д.М. Бронникова, Ю.В. Демидова, Д.Р. Каплунова, д-р. техн. наук И.И. Айнбиндера, В.И. Борщ-Компоницеца, Ю.В. Волкова, А.А. Еременко, В.А. Еременко, Н.Х. Загирова, Н.Ф. Замесова, О.В. Зотева, А.В. Зубкова, В.Р. Именитова, В.Н. Калмыкова, Е.В. Кузьмина, С.А. Неверова, М.В. Рыльниковой, И.В. Соколова, А.М. Фрейдина и других.

В отечественной практике подземных горных работ доработка запасов в сложных горно-геологических условиях сдерживается отсутствием исследований целенаправленного техногенного преобразования массива горных пород участка недр, научно обоснованной совокупности технологических способов одновременного изменения его напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик.

*Во второй главе* диссертации получили развитие теоретические основы техногенного преобразования массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений.

В работе, с целью определения направления техногенного преобразования массива горных пород на этапе доработки, запасы, разрабатываемого участка недр, разделены на группы:

1. Балансовые запасы.
2. Забалансовые, находящиеся в контуре балансовых руд и отработываемые попутно.
3. Забалансовые, находящиеся вне контура балансовых руд и в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях.
4. Некондиционные для подземной физико-технической геотехнологии.
5. Кондиционные для физико-химической геотехнологии.

Определено, что для обеспечения проектных показателей по объему концентрата в условиях снижения качества руды и содержания полезного компонента необходимо увеличение производственной мощности подземного рудника за счет определения последовательности отработки и количества запасов, вводимых в эксплуатацию, с учетом их ценности, технологии очистной выемки и степени подготовленности. При этом обеспечение необходимо-

го объема вовлекаемых запасов достигается путем перевода ранее забалансовых запасов в балансовые за счет формирования благоприятных горно-технических условий на основе целенаправленного преобразования свойств и состояния массива горных пород. В зависимости от условий применения способов и объектов воздействия определены направления и соответствующие технологии преобразования массивов горных пород.

В результате исследований разработана систематизация способов предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород (табл. 1). Предложенная систематизация учитывает направление, технологию, объект преобразования и условия применения способов.

*В третьей главе* исследованы параметры изменения свойств и состояния массива горных пород при его техногенном преобразовании в ходе эксплуатации месторождения.

Показано, что геомеханическое состояние и свойства массива горных пород, главным образом, определяют выбор и обоснование параметров геотехнологии, обеспечивая эффективность и безопасность доработки рудных месторождений подземным способом. Значительная изменчивость данных характеристик массива обуславливает варьирование в широком диапазоне конструктивных параметров систем разработки, а, следовательно, технико-экономических показателей технологии.

С целью проведения исследований возможности техногенного преобразования массива, с учетом характера и степени воздействия участка горных пород разделены на три зоны:

- зона отсутствия техногенного воздействия (в нетронутом массиве горных пород);
- зона прямого техногенного воздействия (в выработанном пространстве в процессе ведения очистных работ);
- переходная зона (в приконтурном к выработанному пространству массиве горных пород).

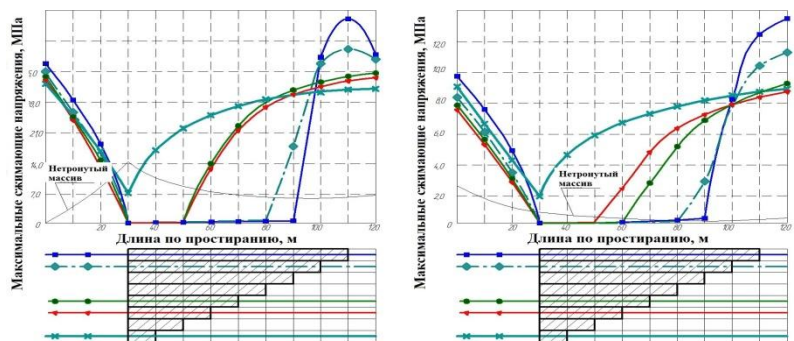
Установлено, что направленное преобразование свойств и состояния массива горных пород необходимо осуществлять в пределах переходной зоны, в которой обеспечивается управление контролируруемыми параметрами.

В работе установлено, что при отработке запасов рудного тела в сплошном порядке, управление уровнем напряженности массива горных пород возможно в переходной зоне в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1. Способ управления геомеханическим состоянием и степенью нарушенности массива определяется с учетом последующей технологии ведения горных работ. Это обеспечивает рост максимальных напряжений в переходной зоне, превышающих напряжения в зоне прямого техногенного воздействия более чем на 40 %, и образование зоны потенциального обрушения при развитии горных работ в направлении вектора повышенной компоненты горизонтальных сил.

**Таблица 1 – Систематизация способов предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород**

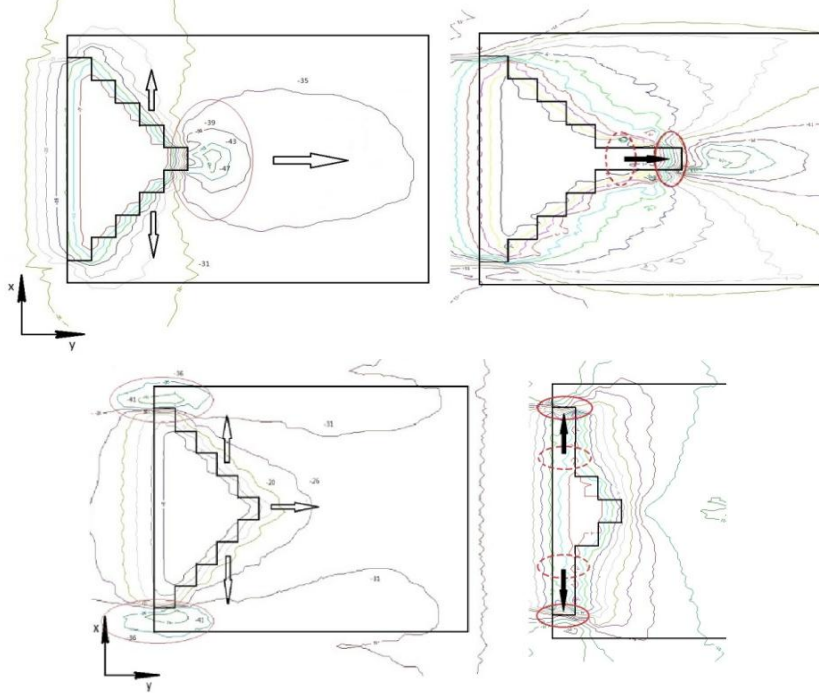
Способ преобразования	Вид (направление) преобразования	Технология преобразования	Объект и условия применения
Преобразование геомеханических свойств массива участка недр	Повышение прочностных свойств (упрочнение)	Инъектирование Тросовое крепление Замораживание	Неустойчивые, трещиноватые скальные руды и породы Обводненные породы Породный закладочный массив
	Снижение прочностных свойств (разупрочнение)	Гидроразрыв Применение ПАВ	Прочные скальные малотрещиноватые массивы руд Глубины разработки превышают критические
	Изменение деформационных свойств (деформируемость)	Управление деформационными свойствами за счет наведения трещиноватости, создание полостей	
Преобразование технологических свойств рудного массива	Устойчивость при обнажении	Крепление	Участки месторождения с неустойчивыми рудами
		Изменение параметров	
		Изменение свойств и нарушенности	
	Устойчивость несущих элементов горной конструкции	Варьирование параметрами Изменение свойств	Целики, массивы руд, находящиеся в нарушенном состоянии
Способность к выщелачиванию рудного массива и растворению	Изменение фильтрационных свойств массива	Массив руд, пригодные к разработке методом выщелачивания и соляные	

Способ преобразования	Вид (направление) преобразования	Технология преобразования	Объект и условия применения
Преобразование состояния массива участка месторождения	Напряженно-деформированное	Региональные и локальные методы разгрузки. Технологические методы: формой и размерами сечения, направлением и порядком выемки, обрушение, крепление	Месторождения: удароопасные, в гористой местности, на большой глубине, в зонах тектонического давления
	Нарушенность массива	Мероприятия, снижающие нарушенность: омоналичивание, замораживание, уплотнение	Участки сильно нарушенных руд и пород
		Мероприятия, повышающие нарушенность: взрывание, нагнетание воды, подсечка	Участки высокопрочных монолитных руд и пород
	Высокая обводненность	Осушение. Перевод в другое фазовое состояние - замораживание	Участки месторождения: плывуны, имеющие напорные воды, водоносные горизонты
	Степень подготовленности к добыче	Проведение выработок, повышающих степень подготовленности к добыче	Некондиционные руды, забалансовые запасы



**Рисунок 1 – Распределение главных напряжений в кровле очистных камер**

Установлено, что снижение нарушенности и сохранение устойчивости массива горных пород переходной зоны достигается за счет опережающей отработки, ориентуемой в плане согласно вектору повышенной компоненты горизонтальных сил, при обеспечении уходки на расстояние не менее трехкратной длины очистных камер (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схема распределения напряжений при развитии фронта горных работ по направлению действия повышенной компоненты напряжений**

В работе, при доработке запасов, представленных рудами с широким диапазоном изменения содержания полезного компонента, предложены две технологические схемы совмещения систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород и с закладкой выработанного пространства:

Схема 1 предусматривает применение системы разработки с закладкой выработанного пространства для отработки запасов, представленных рудами с высоким содержанием полезного компонента, и последующую доработку бедных руд системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

Схема 2 предусматривает первоочередное применение системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород для отработки бедных руд и последующий переход на систему разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при доработке запасов, представленных рудами с высоким содержанием полезного компонента. При этом в переходной зоне требуется оставление и формирование временного предохранительного целика.

В работе обосновано три варианта формирования целика в переходной зоне между техногенно-нарушенными участками:

*Вариант 1* – первоначальная отработка переходной зоны и формирование искусственного целика с последующей доработкой основных запасов рудного тела.

*Вариант 2* – первоначальная отработка основных запасов рудного тела с оставлением предохранительного рудного целика между участками горных работ с последующей его отработкой.

*Вариант 3* – первоначальная отработка основных запасов рудного тела с оставлением предохранительного рудного целика между участками горных работ без последующей его отработки.

Геомеханическое моделирование вариантов развития горных работ показало, что требуемая устойчивость обеспечивается при первоначальной отработке целика в переходной зоне и замене рудного массива твердеющей закладкой с дальнейшей доработкой запасов системой с обрушением руды и вмещающих пород. Ширина предохранительного целика определяется с учетом технологии последующей доработки и условий его устойчивости.

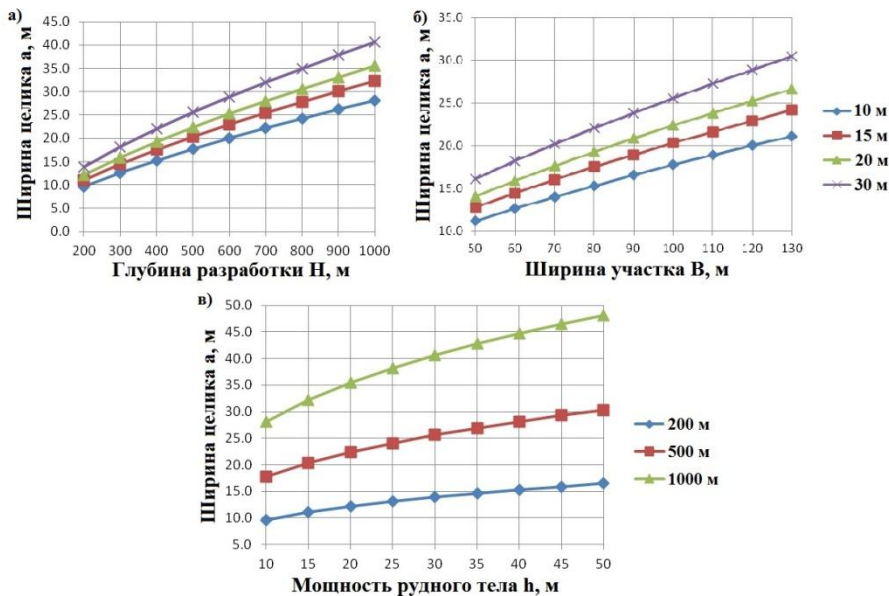
С целью определения мощности барьерного целика разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния массива горных пород в условиях двукратного превышения величины горизонтальных сил над вертикальными по направлению вкрест простирания вектора развития фронта горных работ, на основе которой установлены зависимости ширины барьерного целика от глубины разработки  $H$  (рисунок 2а), длины участка по простиранию  $B$  (рисунок 2б) и мощности рудного тела  $h$  (рисунок 2в).

Расчетная схема к определению ширины барьерного целика между участками очистных работ с различными способами поддержания выработанного пространства приведена на рисунок 3.

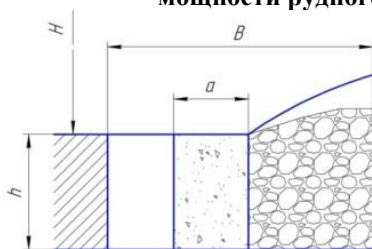
В результате аппроксимации установленных зависимостей ширины барьерного целика, представленных на рисунок 2, получено уравнение для определения его количественного значения:

$$a = 0,07 h^{0,33} (BH)^{0,66} \text{ при } R^2 = 0,9 .$$

Областью применения установленной зависимости является глубина горных работ 200 – 1000 м, мощность рудного тела 10 – 50 м и протяженность зоны обрушения 50 – 130 м.



**Рисунок 2 – Зависимости ширины барьерного целика от глубины разработки H (B=100м) (а), длины участка по простиранию B (H=500м) (б) и мощности рудного тела h (B=100м) (в)**



**Рисунок 3 – Расчетная схема к определению ширины барьерного целика**

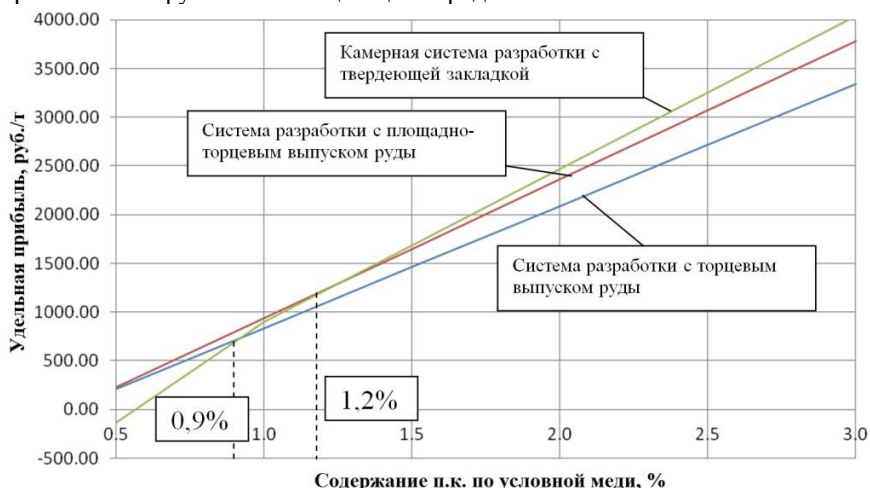
В четвертой главе исследовано влияние целенаправленного техногенного преобразования массива горных пород на изменение параметров горно-технической системы.

Проведенными исследованиями установлено, что в условиях неравномерного распределения содержания полезного компонента по площади месторождения или обособленного рудного тела целесообразна первоочередная обработка наиболее ценных руд системами разработки с высокой полнотой выемки с целью минимального техногенного изменения свойств и состояния массива горных пород этих участков. При этом последующая доработка оставленных участков, имеющих относительно низкое содержание полезного компонента, осложнена высокой нарушенностью массива вмещающих пород и хаотичным распределением зон концентрации и разгрузки напряжений, что предполагает применение систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород.

В работе определены границы применения различных способов поддержания очистного пространства, разработаны способы сохранения качества добываемых руд на уровне технологии добычи с твердеющей закладкой, применение на одном горизонте разных схем подготовки, управления геомеханическими процессами в результате взаимовлияния зон рудного, искусственного массива и обрушенных пород, что обеспечивает экономическую эффективность отработки запасов при их техногенном преобразовании в процессе эксплуатации месторождения.

В работе, на примере медноколчеданных месторождений, установлено закономерное распределение массивных сплошных руд в кровле и центральных частях рудных залежей. Прожилково-вкрапленные руды сконцентрированы на флангах и подошве месторождений. Данный тип руд обладает невысоким содержанием полезных компонентов и имеет на таких участках небольшую мощность, что существенно сокращает область применения классов систем разработки с искусственным поддержанием выработанного пространства.

С учетом установленных закономерностей распределения содержания полезных компонентов и изменения прочностных характеристик пород и руд разработана экономико-математическая модель, на основе критерия получения минимальной себестоимости и максимальной прибыли, позволяющая определить границы применения различных способов поддержания очистного пространства. Результатом моделирования является графическая зависимость удельной прибыли при доработке запасов от содержания в них полезного компонента (рисунок 4). Моделирование проводилось при первоначальной отработке запасов камерной системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства с последующим переходом, при снижении содержания полезного компонента, на систему разработки с обрушением руды и вмещающих пород. Также проведена оценка отработки рудного тела системой разработки с площадно-торцевым выпуском руды с управляемым обрушением вмещающих пород.



**Рисунок 4 – Предельные содержания полезных компонентов в руде при избирательном применении систем разработки различных классов**

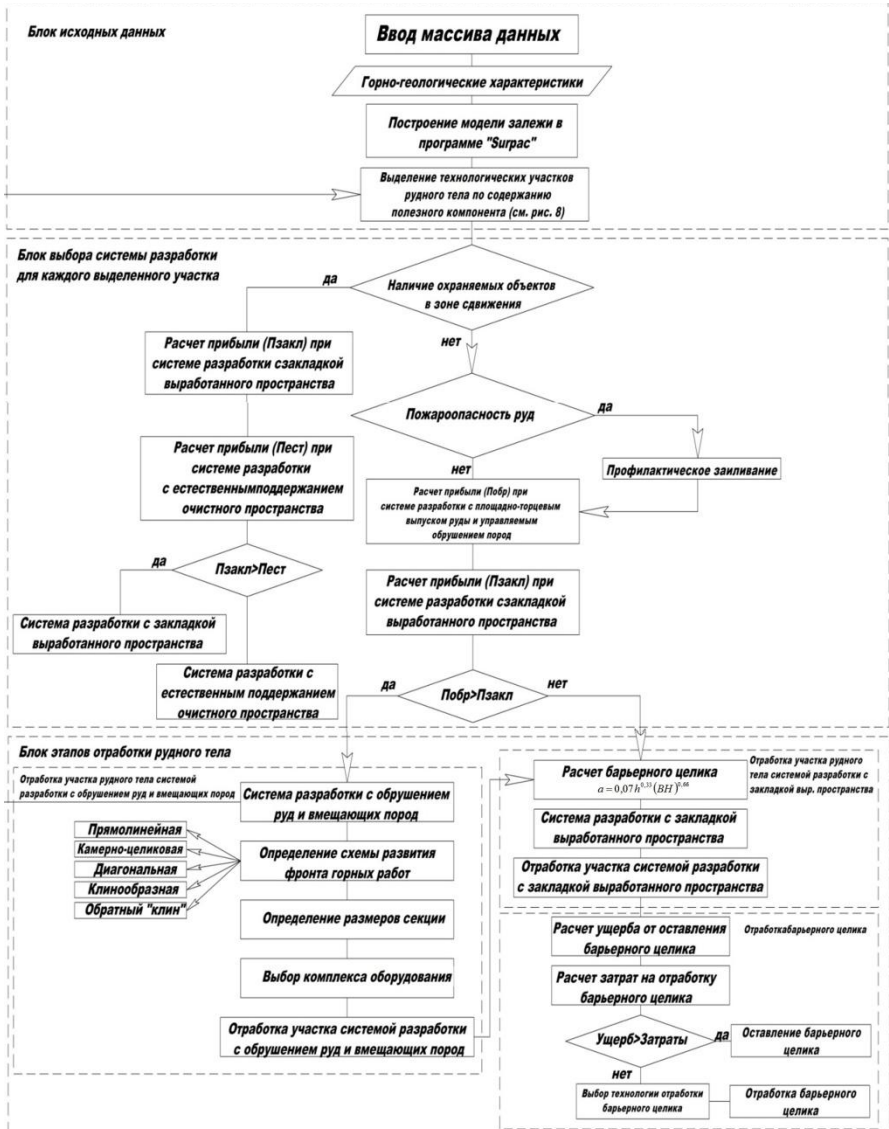


Анализ графика (рисунок 4) показывает, что применение системы разработки с обрушением и торцевым выпуском руды, по сравнению с системами разработки с закладкой, экономически целесообразно при содержании полезного компонента до 0,9 %. Технология площадно-торцевого выпуска руды под обрушенными породами позволяет расширить область применения класса систем разработки с обрушением до содержания 1,2 % полезного компонента в руде.

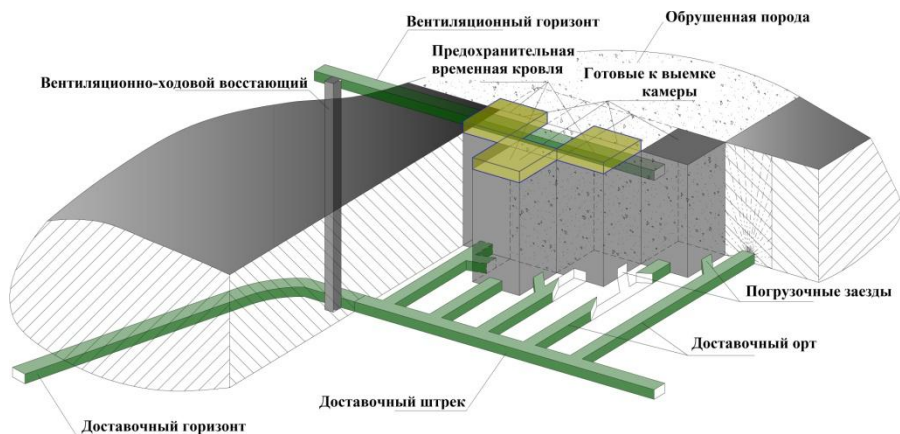
На основе проведенных исследований разработан алгоритм выбора рациональных систем разработки (рисунок 5), позволяющий обосновать параметры подземной геотехнологии с учетом техногенного преобразования участка недр в ходе эксплуатации месторождения. Для обеспечения возможности совместного применения систем разработки различных классов, в работе предложена их систематизация. Своевременное применение систем разработки позволяет в ходе эксплуатации месторождения изменить порядок способов поддержания очистного пространства, при заблаговременном управлении устойчивостью массива горных пород, с учетом последующего принятого состояния очистного пространства в условиях сложной морфологии и значительных размерах шахтного поля для интенсификации отработки участка недр.

*В пятой главе* разработаны и обоснованы параметры подземной геотехнологии на основе предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород.

В работе, на основе выполненных исследований, установлено, что переход от системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород к камерной системе разработки с твердеющей закладкой обеспечивается управляемым преобразованием свойств и состояния массива горных пород на основе разработанной технологии отработки запасов с использованием принципа площадно-торцевого выпуска руды (рисунок 6). Отличительной особенностью данной технологии, применяемой при доработке запасов, является то, что все подготовительно-нарезные работы проводятся в границах горизонта выпуска. При этом данный комплекс выработок проходится в период отработки балансовых запасов и используется при доработке ранее забалансовых запасов без реконструкции. Для сохранения системы выработок, на границе выемочного участка проходится доставочный орт, который сбивается восстающим с вентиляционным горизонтом. Рудное тело разделяется на панели путем проведения буро-доставочных штреков из пройденного доставочного орта, которые также служат буровыми выработками. Расстояние между буро-доставочными штреками определяет ширину панели. Для осуществления выпуска руды проходятся погрузочные заезды к центру отбиваемой секции под углом  $45\div 60^\circ$ . Отработка рудных панелей осуществляется секциями, имеющими форму параллелепипеда и состоящими из нескольких слоев, определяемых расстоянием между веерами скважин.



**Рисунок 5 – Алгоритм выбора рациональных систем разработки и обоснования параметров технологии с учетом техногенного преобразования участка недр в ходе эксплуатации месторождения**

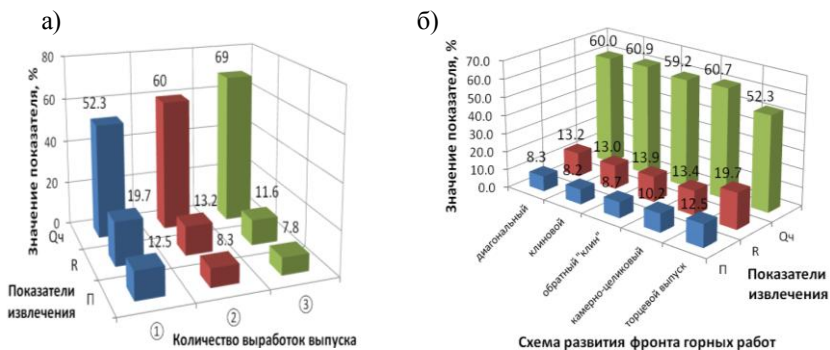


**Рисунок 6 – Камерная система разработки с площадно-торцевым выпуском руды**

Исследованиями установлено, что управление геомеханическим состоянием массива горных пород обеспечивается заданным порядком отработки и последовательностью применения различных классов систем разработки. В работе доказано, что обеспечение пролета подработки на величину более трех длин камер, при опережении фронта горных работ по направлению максимальной компоненты горизонтальных сил, обеспечивает временную устойчивость кровли отработываемых камер и позволяет, при отработке участка с искусственным поддержанием очистного пространства, формировать закладочный массив с прочностью ниже нормативной, повысить качественные показатели выпуска.

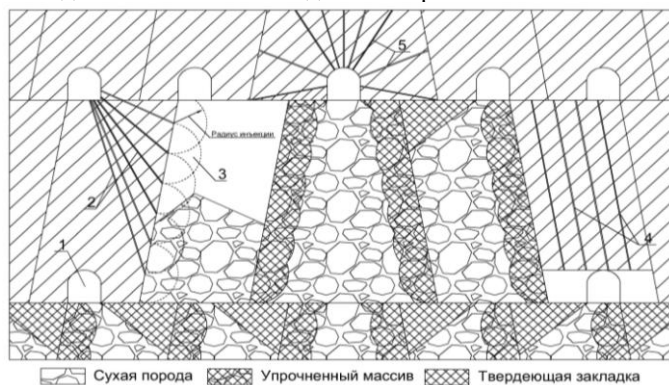
Целенаправленное техногенное преобразование, помимо конструктивных параметров, обеспечивается организационно-технологическими мероприятиями, включающими регулирование времени отработки камер. Предложенные решения позволяют повысить интенсивность очистных работ за счет увеличения количества точек выпуска отбитой руды. При доработке участка системой разработки с обрушением руды и вмещающих пород достигается повышение показателей выпуска. В результате физического моделирования установлено, что извлечение чистой руды до начала засорения обрушенной пустой породой при двух и трех точках выпуска увеличивается на 12-13 % и 24-25 % соответственно, потери снижаются на 31-33 % и 36-38 %, разубоживание – на 32-34 % и 39-41 %, (рисунок 7а). Кроме того, на показатели извлечения влияет схема развития фронта очистных работ (рисунок 7б).

С целью повышения интенсивности отработки запасов камерными системами разработки, при сплошном порядке выемки в условиях неустойчивых вмещающих пород, разработан способ управления свойствами и составом рудного и закладочного массивов, заключающийся в инъекционном упрочнении твердеющими смесями закладочного материала и последующим его уплотнением. Закладочные скважины являются компенсационным пространством и дополнительной свободной поверхностью при последующей отбойке запасов в зажатой среде для достижения требуемых параметров уплотнения искусственного массива.



**Рисунок 7 – Зависимости показателей извлечения руды: а) от количества точек выпуска из секции; б) от применяемой схемы развития фронта очистных работ**

Конструкция камерной системы разработки представлена на рисунке 8. Ведение очистных работ осуществляется вкрест простирания рудного тела. Отработка камер в пределах подэтажа производится от центра к флангам при общем восходящем порядке отработки запасов. Центральная камера в поперечном сечении имеет форму трапеции, с углом наклона стенок 80-85°, что повышает устойчивость закладочного массива. Выработанное пространство камеры заполняется породой от проходки выработок. Цементный раствор подается по нисходящим скважинам, пробуренным в рудном массиве. Радиус проникновения раствора в породу определяет сетку закладочных скважин. Очистная выемка камер производится в сплюсннном порядке после формирования закладочного массива. При этом отбойка запасов ведется в зажимающей среде для обеспечения уплотнения не потерявшего подвижность твердеющего закладочного массива соседней камеры.



**Рисунок 8 – Камерная система разработки с упрочнением закладочного массива: 1 – буро-доставочный орт; 2 – закладочные скважины; 3 – зона влияния инъекции; 4 – отбойные скважины; 5 – веер скважин**

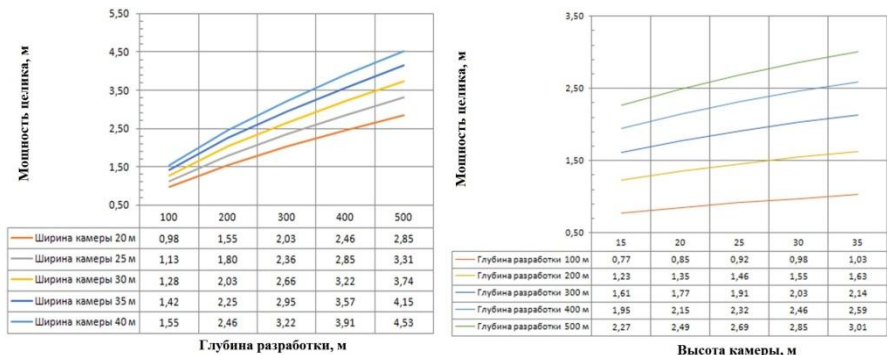
В работе использован известный эффект, когда отбойка руды взрывным способом на границе с закладочным массивом вызывает его уплотнение. Исследованиями установлено, что сухая порода со средним размером куска до 300 мм уплотняется взрывом на 25-35 % на глубину до 20 м.

В результате исследований установлена зависимость величины бокового давления породной закладки от угла наклона камеры (рисунок 9), а также ширины упрочненного слоя закладочного массива от высоты камеры и глубины ведения горных работ (рисунок 10).



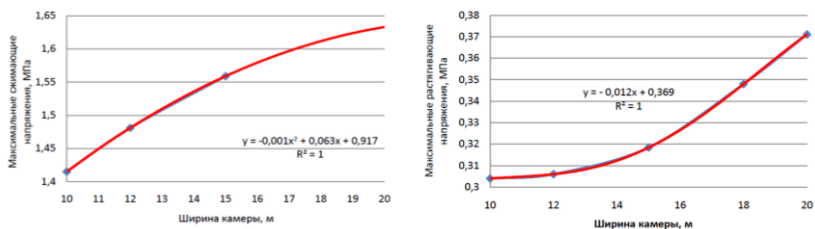
**Рисунок 9 – Зависимость бокового давления сыпучей закладки от угла наклона камеры**

Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) упрочненного слоя закладочного массива производилась с помощью математического моделирования методом конечных элементов в объемной постановке задачи. Исследовалось НДС упрочненного слоя с нормативной прочностью 3 МПа, который испытывает давление, оказываемое только породной закладкой в камерах со следующими параметрами: высота – 25 м и ширина от 10 до 20 м.



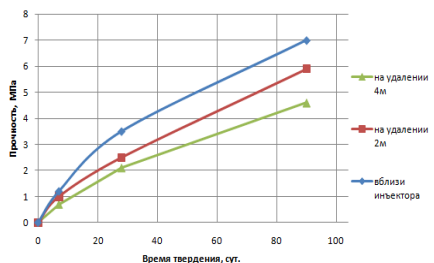
**Рисунок 10 – Зависимости толщины упрочненного слоя от глубины разработки и высоты камеры**

По результатам моделирования выявлено, что напряжения концентрируются у основания упрочненного слоя. При этом значения напряжений не превышают прочностных характеристик упрочненного слоя, что обеспечивает его устойчивое состояние на период ведения очистных работ. Зависимости изменения главных нормальных напряжений от ширины камер представлены на рисунке 11.

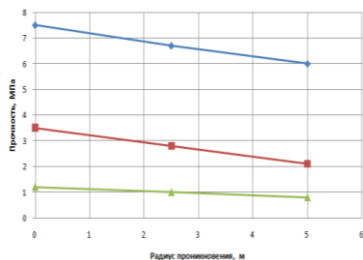


**Рисунок 11 – Зависимости максимальных сжимающих и растягивающих напряжений на границе закладочного массива с отработанной камерой при различных значениях ее ширины**

В работе, для определения параметров упрочненного слоя, помимо аналитических расчетов, проведены лабораторные исследования и установлено, что нагнетание раствора в сыпучие среды представляет собой труднопрогнозируемый процесс, и зависит от ряда факторов, включающих свойства среды и раствора, кинематические и динамические характеристики потока, технологию инъецирования. Результаты физического моделирования упрочнения сыпучего закладочного массива представлены на рисунках 12 и 13.



**Рисунок 12 – Кинетика твердения проиньектированного массива**



**Рисунок 13 – Зависимость прочностных характеристик от радиуса проникновения инъекционного раствора**

Проведенные опытно-промышленные испытания предложенного способа инъецирования в условиях Сафьяновского месторождения подтвердили возможность техногенного преобразования свойств искусственного и природного массивов.

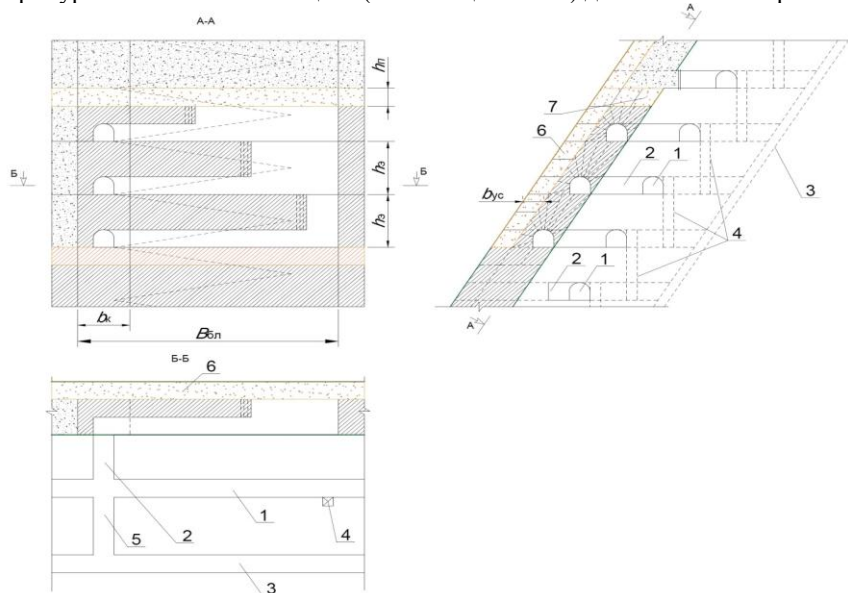
С целью доработки ранее забалансовых запасов в условиях сложной морфологии рудных тел, при высокой трещиноватости вмещающих пород, предложена подэтажно-камерная система разработки, обеспечивающая повышение интенсивности освоения запасов. Сущность системы разработки заключается в отработке блока камерами под защитой упрочненного слоя (рисунок 14). Отработка камер начинается после формирования защитного слоя 6 в всياчем боку рудного тела и потолочины (междуэтажного целика) 7. Камеры обрабатываются вкрест простирания рудного тела. Этаж по вертикали разделяется на подэтажи, по горизонтали – на блоки. Высота этажа (подэтажа) определяется устойчивостью массива закладки, сформированного ранее,

защитного слоя. Длина блока зависит от применяемых средств механизации на доставке руды. Блок по простиранию разделяется на камеры, которые отрабатываются по камерно-целиковой схеме.

Подготовка блока осуществляется из участкового наклонного съезда 3. На каждый подэтаж из заезда 5 проходит полевой доставочный штрек 1. Нарезные работы осуществляются проведением буро-доставочных ортов 2 и формированием отрезного восстающего 8, который расширяется в отрезную шель, на контакте с защитным слоем.

Отбойка руды производится веерами скважин, пробуренных из буро-доставочных ортов 2 на подэтажах. В зависимости от устойчивости защитного слоя, отработка подэтажей производится последовательно сверху вниз или одновременно на всю высоту этажа.

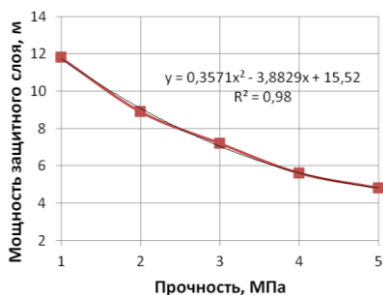
Закладка выработанного пространства осуществляется через скважины 9, пробуренные с вышележащего (вентиляционного) доставочного штрека 10.



**Рисунок 14 – Подэтажно-камерная система разработки с формированием защитного слоя и расположением камер по простиранию: 1 – доставочный штрек; 2 – доставочный орт; 3 – участковый наклонный съезд; 4 – вентиляционно-ходовой восстающий; 5 – заезд на подэтаж; 6 – защитный слой; 7 – междуэтажный целик; 8 – отрезной восстающий; 9 – междукамерный целик; 10 – закладочная скважина; 11 – буро-доставочный штрек**

По результатам математического моделирования НДС массива защитного слоя и аналитических расчетов получена зависимость мощности защитного слоя от прочности закладочного материала (рисунок 15).





**Рисунок 15 – Зависимость мощности защитного слоя от прочности закладочного материала**

*В шестой главе* выполнена технико-экономическая оценка представленных технологических рекомендаций повышения полноты и комплексности освоения участка недр путем управляемого техногенного преобразования участка недр.

Для горнодобывающих предприятий Уральского региона, с учетом горно-геологических и горнотехнических условий разработки крутопадающих месторождений, разработаны рекомендации и внедрены технические решения, обеспечивающие целенаправленное заданное изменение состояния, структуры, свойств и состава массива горных пород.

Суммарный экономический эффект на Сафьяновском месторождении от внедрения камерной системы разработки с инъекционным упрочнением породного закладочного массива составляет 169,5 млн руб., обеспечивая 12 % экономии затрат на очистную выемку, при производственной мощности, равной 500 тыс.т/год.

При вскрытии первой залежи Камаганского месторождения с максимальным использованием существующих выработок, совместной отработкой балансовых и забалансовых рудных тел и поэтапным вводом участков в эксплуатацию с обособленным проветриванием, с учетом предложенных рекомендаций получен экономический эффект в размере 108,5 млн руб.

Предложенные решения по изменению порядка и очередности отработки участков Чебачьего месторождения различными классами систем разработки позволили получить экономический эффект в размере 135,0 млн руб.

Расчетный экономический эффект от реализации разработанной стратегии развития горных работ, предусматривающей целенаправленное техногенное преобразование массива горных пород, при разработке Кочкарского месторождения с учетом перехода на самоходное оборудование, обеспечивающей совместную отработку жильных рудных тел и запасов минерализованных зон, составил 1886,0 млн руб. при производственной мощности – 2,0 млн т/год.

Выполненными исследованиями доказано, что при проектировании и разработке месторождений подземным способом необходимо рассматривать совместную отработку балансовых и забалансовых запасов при поэтапном вводе участков, обеспечивая целенаправленное техногенное преобразование массива горных пород на каждой стадии эксплуатации.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, на основе выполненных научных и экспериментальных исследований разработана совокупность технологических решений, внедрение которых направлено на создание благоприятных горно-технических условий для доработки ранее забалансовых запасов путем целенаправленного преобразования свойств и состояния горного массива, позволяющих повысить полноту освоения недр при обеспечении безопасности ведения горных работ, что имеет важное экономическое значение для развития горнодобывающих предприятий страны.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа и обобщения опыта разработки рудных месторождений подземным способом установлено, что в настоящее время доработка и вовлечение в эксплуатацию ранее забалансовых запасов производится без учета последствий и влияния техногенного преобразования массива пород при ведении горных работ. Техногенное преобразование массива горных пород, обусловленное своевременным целенаправленным изменением его напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик и обеспечивает вовлечение в доработку ранее забалансовых запасов.

2. Установлено, что повышение полноты освоения рудных месторождений при доработке запасов достигается определением параметров технологий техногенного преобразования свойств и состояния горного массива и области их применения для создания благоприятных горно-технических условий на основе учета особенностей его горно-геологических и геомеханических характеристик при переводе ранее забалансовых запасов в балансовые.

3. Дано развитие научно-методической базы целенаправленного техногенного преобразования участка недр, основанное на определении области применения способов и обосновании параметров технологий изменения свойств и состояния массива горных пород, позволяющих создать благоприятные горно-технические и геомеханические условия для эффективной доработки ранее забалансовых запасов месторождений подземным способом, со снижением себестоимости их отработки до 30 %.

4. Систематизированы способы преобразования свойств и состояния горного массива на основе избирательного использования эффективных воздействий на массив пород, применение которых совместно с очистными работами обеспечивает перевод ранее забалансовых запасов в балансовые и их эффективную доработку подземным способом, при высокой нарушенности горных пород и модуле их трещиноватости более 2, а также концентрации напряжений в период очистной выемки, превышающих естественное напряженное состояние более чем в 1,4 раза.

5. Установлено, что при величине максимальных главных напряжений в массиве, превышающих предел прочности пород, вовлечение в освоение ранее забалансовых запасов, подрабатываемых в процессе освоения балансовых запасов, обеспечивается опережением их очистной выемки на величину

$H/tg\varphi$  (где  $H$  – вертикальное расстояние между обрабатываемыми участками, м;  $\varphi$  – угол сдвига горных пород, град.), а также путем проведения комплекса мероприятий по формированию заданной структуры массива, включающих повышение модуля трещиноватости до величины не менее 3, за счет перераспределения концентрации напряжений и опорного давления, с целью создания благоприятных условий для перехода на системы разработки с обрушением и самообрушения руды и вмещающих пород. А при переходе на систему разработки с закладкой выработанного пространства, длина камеры должно составлять не более 0,4 ее высоты для сохранения устойчивого состояния камеры и обеспечения плавного оседания подрабатываемого массива без нарушения его сплошности.

6. Разработаны технологические решения по техногенному преобразованию свойств массива горных пород путем изменения его геомеханического состояния и снижения напряжений в 1,4 раза для повышения устойчивости обнажений с целью отработки запасов камерными системами разработки при одновременном формировании изолирующей горной конструкции, которая снижает коэффициент потерь до 8 % и разубоживание до 13 % и позволяют увеличить интенсивность отработки запасов до 2 раз относительно слоевой системы разработки. Мощность изолирующей горной конструкции определяется прочностью закладочного материала и составляет от 5 до 12 м при прочности, соответственно, от 5 до 1 МПа при наклонном обнажении, не превышающем две длины очистной камеры.

7. Научно обосновано, что техногенное преобразование структуры и свойств природного и техногенного массивов, при освоении запасов участка месторождения с закладкой выработанного пространства, обеспечивается формированием и переводом в связное, устойчивое состояние сыпучих пород путем их упрочнения и последующего уплотнения закладочного материала взрыванием зарядов в зажимающей среде. Заряды располагают параллельно контуру искусственного массива на расстоянии не более 0,8 расчетной величины линии наименьшего сопротивления (ЛНС), а расстояние между отбойными скважинами в веере принимается равной двум ЛНС.

8. Доказано, что повышение полноты освоения рудной залежи достигается первоначальной отработкой богатых запасов системой разработки с высокими камерами, имеющими форму параллелепипеда с квадратным сечением и размерами в плане от 8 м до 12 м, и закладкой выработанного пространства с последующим переходом на применение системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород. При этом опережение фронта горных работ производится по направлению максимальной компоненты горизонтальных сил на расстояние не менее трех длин камер. Благоприятные условия перехода на систему с обрушением руды и вмещающих пород создаются перебором взрывных скважин на величину линии наименьшего сопротивления и увеличением удельного расхода взрывчатого вещества на 12 % для наведения трещиноватости к модулю не менее 3.

9. Установлена область применения классов систем разработки по содержанию полезного компонента. Доказано, что применение системы разработки с обрушением и торцевым выпуском руды, по сравнению с системами разработки с закладкой, экономически целесообразно при содержании полез-

ного компонента до 0,9 % по условной меди, при этом технология площадно-торцевого выпуска руды под обрушенными породами позволяет применять класс систем разработки с обрушением при содержании полезного компонента в руде до 1,2 %.

10. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности предложенных решений по своевременному целенаправленному изменению напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик массива горных пород при доработке запасов месторождений «Сафьяновское», достигнутый экономический эффект составил 169,5 млн руб, «Камаганское» – 108,5 млн руб, «Чебачье» – 135,0 млн руб.

**Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих работах:**

***В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Обоснование способов освоения и систем разработки маломощных рудных тел Камаганского медноколчеданского месторождения / М.В. Рыльникова, С.А. Корнеев, А. М. Мажитов, В.С. Корнеева // Горный журнал. – 2014. – № 5. – С. 86-90.

2. Анализ и оценка схем формирования комбинированного искусственного массива при этажно-камерной системе разработки / А.Б. Аллабердин, А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, С.Е. Гавришев // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12. – № 3(45). – С. 436-443.

3. Выбор технологических схем отработки обособленных пологозалегающих рудных тел Октябрьского месторождения / М.В. Рыльникова, С.А. Корнеев, А.М. Мажитов, В.С. Корнеева // Маркшейдерский вестник. – 2014. – № 2(100). – С. 15-19.

4. Исследование внешних и внутренних рабочих процессов горных машин при работе на «неосветленной» воде в подземных условиях / Б.М. Габбасов, А.И. Курочкин, А.М. Мажитов, С.Н. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 6. – С. 13–23 (In Eng.).

5. Мажитов, А.М. Влияние высоты камеры на устойчивость массива при отработке прикарьерных запасов Камаганского месторождения / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, С.Н. Корнилов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S4-2. – С. 198-204.

6. Мажитов, А.М. Определение параметров и показателей адаптивного варианта системы разработки с площадно-торцевым выпуском для условий отработки пологих залежей / А.М. Мажитов, Э.Ю. Мещеряков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 2(42). – С. 5-8.

7. Мажитов, А.М. Оценка геомеханического состояния горного массива при отработке пологой залежи медноколчеданных руд с обрушением налегающих пород и площадно-торцевым выпуском руды / А.М. Мажитов, Э.Ю. Мещеряков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S27. – С. 107-112.

8. Мажитов, А.М. Оценка степени техногенного преобразования участка недр при разработке месторождения с обрушением руды и вмещающих пород в восходящем порядке / А.М. Мажитов // Горная промышленность. – 2021. – № 4. – С. 113-118.

9. Мажитов, А.М. Перспективы применения системы разработки подэтаж-

ного обрушения в качестве альтернативы системам разработки с закладкой / А.М. Мажитов, С.А. Голяк // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S4-2. – С. 48-53.

10. Обоснование параметров и возможностей регулирования энергии вентиляционных потоков (на примере Камаганского медно-колчеданного месторождения) / М.В. Рыльникова, В.В. Олизаренко, С.А. Корнеев, А.М. Мажитов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S65. – С. 18-32.

11. Обоснование параметров подземной геотехнологии освоения рассредоточенных рудных тел ярусного залегания / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, Д.В. Доможилов, П.В. Волков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 1(53). – С. 121-127.

12. Обоснование технологических схем обработки месторождения с учетом техногенного преобразования / А.М. Мажитов, И.А. Пыталев, Е.В. Боровиков, Г.Д. Першин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 4. – С. 5-14.

13. Обоснование устойчиво-безопасных параметров откосов бортов карьера "Камаган" при подземной доработке месторождения / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, И. А. Пыталев, Т. С. Кравчук // Горный журнал. – 2018. – № 2. – С. 27-30.

14. Оценка устойчивости бортов карьера "Камаган" при подземной доработке месторождения / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, И.А. Пыталев, Т.С. Кравчук // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S4-2. – С. 205-215.

15. Разработка технологии формирования искусственного массива с заданными геотехническими характеристиками / А.М. Мажитов, П.В. Волков, А.В. Красавин, А.Б. Аллабердин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019. – № 2. – С. 51-58.

***В научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования:***

16. Оптимизация схемы проветривания при увеличении производственной мощности подземного рудника / Н.Д. Ильинов, А.М. Мажитов, А.Б. Аллабердин, К.В. Важаев // Горная промышленность. – 2021. – № 6. – С. 89-93.

17. Технологические решения по локализации очагов эндогенных пожаров при обработке прибортовых запасов системами с обрушением руды и вмещающих пород / А.М. Мажитов, С.А. Корнеев, А.Н. Смяткин, Б.М. Габбасов // Горная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 122-127.

18. Rationale for sustainable-safe parameters of highwall slopes in Kamagan occurrence while underground cleaning-up / A.M. Mazhitov, S.A. Korneyev, I.A. Pytalev, T.S. Kravchuk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : [Electronic resource], Saint-Petersburg, 23–24 марта 2017 года. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing. – 2017. – P. 052017.

19. Development and implementation of resource-saving technologies of artificial array formation in conditions of Safyanovskoe copper-sulphide deposit / A.M. Mazhitov, P.V. Volkov, A.P. Gnedih, A.A. Vugov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Issue 7 Transportation of Mineral Resources, Saint-Petersburg, 12–13 апреля 2018 года. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing. – 2018. – P. 072007.

20. Mazhitov, A.M. Substantiation of parameters of underground geotechnology in the development of complex structural deposit of various grades of ores / A.M. Mazhitov, P.V. Volkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 15, Nizhny Tagil, 18–19 июня 2020 года. – Nizhny Tagil. – 2020. – P. 012003.

21. Volkov, P. V. Technology for fixing mine workings with friction anchors of the SZA type with a new type of anticorrosive coating / P.V. Volkov, R.V. Kulsaitov, A.M. Magitov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 15, Nizhny Tagil, 18–19 июня 2020 года. – Nizhny Tagil. – 2020. – P. 012017.

#### ***Монографии и учебные пособия***

22. Мажитов, А. М. Обрушение руды и вмещающих пород при разработке пологих месторождений / А. М. Мажитов, П. В. Волков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 124 с.

23. Волков, П.В. Технологические схемы выемки природно-техногенных запасов на границе карьеров при комбинированной разработке медноколчеданных месторождений / П.В. Волков, А.М. Мажитов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 113 с.

24. Мажитов, А. М. Основы геомеханики: Электронный ресурс: практикум / А. М. Мажитов, С. А. Корнеев. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 52 с.

25. Гнедых, А. П. Основы подземной разработки месторождений полезных ископаемых: Электронный ресурс / А. П. Гнедых, П. В. Волков, А. М. Мажитов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018.

26. Мажитов, А. М. Процессы подземной разработки рудных месторождений: практикум. Электронный ресурс / А. М. Мажитов, П. В. Волков, А. П. Гнедых. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018.

27. Волков, П. В. Проведение и крепление горных выработок: Электронный курс / П. В. Волков, А. П. Гнедых, А. М. Мажитов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018.

28. Мажитов, А. М. Технология и безопасность взрывных работ: учебное пособие. Электронный ресурс / А. М. Мажитов, Р. В. Кулсаитов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019.

#### ***В патентах РФ:***

29. Патент № 2642193 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/22. Способ разработки горизонтальных и пологих рудных тел средней мощности : № 2017105036 : заявл. 15.02.2017: опубл. 24.01.2018 / А. М. Мажитов, А. Б. Аллабердин, А. С. Валеев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Башкирский государственный университет".

#### ***В прочих изданиях:***

30. Мажитов, А.М. Геомеханическая оценка формы фронта развития горных работ при разработке с обрушением руд пологой залежи средней мощности / А.М. Мажитов, Э.Ю. Мещеряков // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр: труды международной научно-технической конференции, г. Магнитогорск, 2011: Сб. трудов. – Магнитогорск: МГТУ. – 2011. – С. 148-153.

31. Мажитов, А.М. Обоснование технологии поэтажного обрушения для условий отработки локальных участков пологих медноколчеданных залежей средней

мощности / А.М. Мажитов // Комбинированная геотехнология: масштабы добычи и качество сырья при комплексном освоении месторождений: материалы международной научно-технической конференции, г. Магнитогорск, 2013: - Сб. тезисов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2013. – С. 81-82.

32. Мажитов, А.М. Совершенствование системы разработки с обрушением в условиях пологопадающих рудных залежей / Э.Ю. Мещеряков, А.М. Мажитов, Р.Р. Лутфуллин // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: Сб. научных трудов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2012. – С. 91-94.

33. Мажитов, А.М. Опыт проектирования и применения систем подземной разработки различных классов в границах одного месторождения / А.М. Мажитов, Э.Ю. Мещеряков // Проблемы недропользования: Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с участием иностранных ученых) 8-11 февраля 2011 г./ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2011. – С. 163-166.

34. Мажитов, А.М. Совершенствование варианта системы разработки поэтажно-го обрушения с площадно-торцевым выпуском рудной массы / Э.Ю. Мещеряков, А.М. Мажитов // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр: материалы международной научно-технической конференции, г. Магнитогорск, 2011: Сб. тезисов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2011. – С. 75-77.

35. Мажитов, А.М. Создание адаптивного варианта камерной системы подземной разработки руд / Э.Ю. Мещеряков, А.М. Мажитов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики - 6-я Международная Конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы конференции: ТулГУ, Тула. – 2010. – Том 1 – С. 170-174.

36. Калмыков, В. Н. Обоснование технологии выемки целиков, оставленных на границе карьера, при комбинированной разработке месторождений / В. Н. Калмыков, П. В. Волков, А. М. Мажитов // II международная научно-техническая конференция "Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений": сборник докладов, Екатеринбург, 03–04 апреля 2013 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2013. – С. 48-50.

37. Мажитов, А. М. Обоснование размера переходной зоны при совмещении различных способов поддержания очистного пространства / А.М. Мажитов // Науки о Земле на современном этапе: материалы XI междунар. науч.-практ. конф. (14.02.2014). – 2014. – С. 26-30.

38. Мажитов, А. М. Определение физико-механических свойств пород Камаганского месторождения и оценка их удароопасности / А. М. Мажитов, С. А. Корнеев, Б. Н. Клебан // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2015. – Т. 1. – С. 41-44.

39. Обоснование технологии отработки маломощных сближенных рудных тел Камаганского месторождения / А. М. Мажитов, С. А. Корнеев, Б. Н. Клебан, Д. Р. Нуриев // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2016. – Т. 1. – С. 20-23.

40. Мажитов, А. М. Оценка влияния подземных горных работ на напряженно-деформированное состояние прикарьерного массива месторождения Камаганское / А. М. Мажитов // Актуальные проблемы горного дела. – 2016. – № 1. – С. 29-35.

41. Мажитов, А. М. Интенсификация технологии восходящего порядка отработки

крутопадающего рудного тела / А. М. Мажитов, Д. А. Асанов // Актуальные проблемы горного дела. – 2016. – № 2. – С. 36-42.

42. Вьюгов, А. А. Снижение ресурсоемкости закладочных работ при освоении крутопадающего рудного тела / А. А. Вьюгов, А. М. Мажитов, Д. А. Асанов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений : сборник докладов VI Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 18–19 апреля 2017 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2017. – С. 65-70.

43. Мажитов, А. М. Обоснование подземной геотехнологии освоения сближенных рудных тел ярусного залегания Камаганского месторождения / А. М. Мажитов, С. А. Корнеев // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сборник научных трудов по материалам III международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 06–09 февраля 2018 года. – Магнитогорск: Магнитогорский Дом печати. – 2018. – С. 172-178.

44. Опытнo-промышленные испытания камерной системы разработки с инъекционным упрочнением закладочного массива в условиях Сафьяновского месторождения / А. А. Вьюгов, А. М. Мажитов, А. П. Гнедых, А. В. Красавин // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений : Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 11 апреля 2018 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2018. – С. 42-47.

45. Исследование свойств горных пород месторождения "Орловское" тоо "Востокцветмет" / В. В. Косых, П. В. Волков, А. М. Мажитов [и др.] // Актуальные проблемы горного дела. – 2018. – № 1. – С. 33-37.

46. Мажитов, А. М. Технология формирования искусственного массива при восходящем порядке отработки для условий Сафьяновского медноколчеданного месторождения / А. М. Мажитов, М. И. Магафуров, Н. Е. Пудовкин // Актуальные проблемы горного дела. – 2018. – № 2. – С. 31-36.

47. Разработка модели горнотехнической системы освоения сложноструктурного месторождения / А. М. Мажитов, И. М. Кутлубаев, В. В. Половнев, И. В. Простихин // Современные достижения университетских научных школ : Сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 19–20 ноября 2020 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2020. – С. 169-171.

48. Мажитов, А. М. Геомеханическая оценка влияния горных работ на устойчивое состояние поверхности и бортов карьера при комбинированной разработке камаганского месторождения / А. М. Мажитов, С. А. Корнеев, Т. С. Кравчук // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сборник научных трудов по материалам II международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 17–19 февраля 2015 года. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2015. – С. 148-155.

Подписано в печать 20.06.2022  
Усл. печ. л. 2,0.

Формат 60x84/16.  
Тираж 100 экз.

Бумага тип. №1.  
Заказ 164.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38