



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «УГГУ»,

доктор химических наук, профессор

Апакашев Рафаил Абдрахманович

« 25 » августа 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Мажитова Артура Маратовича
на тему «Обоснование параметров подземной геотехнологии при
доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием
свойств и состояния массива горных пород»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

В Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет» представлены диссертация, изложенная на 310 страницах машинописного текста, включающая 144 рисунка и 18 таблиц, список литературы из 248 наименований, состоящая из введения, шести глав, 4 приложений и заключения, и автореферат диссертации.

Актуальность темы диссертации.

Диссертация Мажитова Артура Маратовича посвящена решению актуальной научно-практической задачи, заключающейся в обосновании 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, горнотехнических и геомеханических условиях. Многолетний период эксплуатации рудных месторождений послужил накоплению большого опыта проектирования и реализации подземной геотехнологии. Обоснование проектных решений и выбор геотехнологии освоения месторождений производились по данным горно-геологических свойств руды и вмещающих пород и горнотехнических условий в конкретный момент времени и на весь срок отработки или горизонт проектирования. При этом учет изменения свойств и состояния горного массива по мере развития горных работ, в том числе осуществления производственных процессов вентиляции, водоотлива и закладки выработанного пространства, осуществляется только путем адаптации принятых проектом систем разработки к сложившимся горно-геологическим и горнотехническим условиям эксплуатации. Так, применение системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород

обеспечивает снижение напряжений и разгрузку массива, но приводит к ослаблению и потере прочностных свойств горных пород. Системы разработки с естественным поддержанием очистного пространства обуславливают необходимость оценки периода устойчивого состояния выработанного пространства и прочности поддерживающих целиков, при этом, не учитывая условия их отработки в последующем. Применение закладки выработанного пространства обеспечивает формирование комбинированного массива, также оказывающего влияние на изменение характеристик вещественного состава и свойств массива горных пород. Особое влияние оказывают также внешние факторы, такие как поступление кислорода и гидрогеологические условия месторождения, провоцирующие развитие процессов окисления и самовозгорания руды и, вместе с тем, ослабление массива вмещающих пород и последующую переработку запасов.

На начальном этапе развития горных работ, когда в отработку вовлекаются запасы, находящиеся в благоприятных горно-геологических условиях, влияние техногенного изменения массива горных пород незначительно и фактически не учитывается. Однако, на активном этапе эксплуатации, в связи с истощением разведанной минерально-сырьевой базы, в эксплуатацию вводятся участки со сравнительно худшими условиями: низкое содержание полезного компонента, сложные горно-геологические и горнотехнические характеристики, отработка под охраняемыми объектами. Таким образом, специфика подземных горных работ обуславливает неизбежное техногенное преобразование массива горных пород на всех этапах эксплуатации месторождения. Преобразование заключается в изменении вещественного состава, физико-механических характеристик, напряженно-деформированного состояния массива горных пород и гидрогеологических условий. При этом степень преобразования оказывает значительное влияние на эксплуатационные затраты и последующие показатели эффективности ведения горных работ. Повысить рентабельность отработки вновь вводимых запасов, имеющих низкие качественно-количественные характеристики возможно за счет целенаправленного изменения свойств массива горных пород, т.е. создания требуемых условий для последующей их отработки с применением наиболее эффективных систем разработки.

В связи с этим разработка технологических решений, внедрение которых направлено на создание благоприятных горнотехнических 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, имеет важное экономическое значение для развития горнодобывающих предприятий страны.

Общая характеристика работы.

Диссертационное исследование посвящено решению актуальной научно-практической задачи, заключающейся в обосновании 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, горнотехнических и геомеханических условиях.

В первой главе диссертации обобщен опыт и обоснованы направления предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород при освоении рудных месторождений подземным способом. Произведен анализ и обобщение применяемых в настоящее время способов воздействия на массив горных пород. Рассмотрено влияние технологических процессов, взрывного воздействия, поверхностно-активных веществ, температуры, воды, создания изолирующих конструкций. Сделан вывод о том, что в практике горного дела существуют технологии преобразования горного массива, однако их применение носит лишь локальный характер. На основе имеющего опыта горного производства систематизированы факторы, которые влияют на преобразование свойств и состояния массива горных пород. Установлено, что сохранение минерально-сырьевой базы обеспечивается компенсацией погашаемых запасов за счет вовлечения в разработку бедных, некондиционных руд и ранее забалансовых запасов, как правило, находящихся в особо сложных горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях. Раздел определил все дальнейшие задачи исследования, сформулированы цели и задачи, которые в полной мере соответствуют названию работы.

Во второй главе диссертации получили развитие теоретические основы техногенного преобразования массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений. Вторая глава является методической, поясняются термины и определения, используемые в работе. В работе делается вывод, что изменения, которые происходят в массиве, хоть и необратимые, но позволяют их регулировать. Дана методика оценки степени изменения свойств массива горных пород, которая производится по добавленной стоимости. 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. В результате исследований разработана систематизация способов предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород. 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. В главе проведен большой объем исследований влияния различных факторов на изменение свойств и состояния массива горных пород. Установлено, что целенаправленное преобразование свойств и состояния массива горных пород способствует управлению контролируемыми параметрами и осуществляется в пределах переходной зоны. Последующая технология ведения горных работ определяется геомеханическим состоянием и степенью нарушенности массива и зависит от порядка отработки запасов, формы и раз-

меров сечений подземных выработок. Представленный комплекс горных работ 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. Исследования, проведенные в главе, подтверждают известные закономерности и при этом также выявлены совершенно новые закономерности.

В четвертой главе исследовано влияние целенаправленного техногенного преобразования массива горных пород на изменение параметров горно-технической системы. Установлено, что первоочередная отработка ценных руд системами разработки с высокой полнотой выемки наиболее целесообразна для формирования минимального техногенного изменения свойств и состояния массива горных пород этих участков в условиях неравномерного распределения содержания полезного компонента по площади месторождения или обособленного рудного тела. 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. На основе проведенных исследований разработан алгоритм выбора рациональных систем разработки, позволяющий обосновать параметры подземной геотехнологии с учетом техногенного преобразования участка недр в ходе эксплуатации месторождения.

В пятой главе разработаны и обоснованы параметры подземной геотехнологии на основе предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород. 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. Исследованиями установлено, что заданный порядок и последовательность применения различных классов систем разработки обеспечивает управление геомеханическим состоянием массива горных пород. Результатом главы является разработанная конструкция подэтажно-камерной системы разработки с формированием защитного слоя, позволяющая отрабатывать участки с высокой нарушенностью вмещающих пород и сложной морфологией рудных залежей.

В шестой главе выполнена технико-экономическая оценка представленных технологических рекомендаций повышения полноты и комплексности освоения участка недр путем управляемого техногенного преобразования участка недр. Выполнена технико-экономическая оценка эффективности предложенных решений по своевременному и целенаправленному изменению напряженно-деформированного состояния, геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик массива горных пород при дора-

ботке запасов месторождений «Сафьяновское», достигнутый экономический эффект составил 169,5 млн. руб, «Камаганское» – 108,5 млн. руб, «Чебачье» – 135,0 млн. руб.

Новизна основных научных и практических результатов

Работа обладает научной новизной и имеет практическую значимость.

В диссертации систематизированы способы преобразования свойств и состояния горного массива, разработанные на основе избирательного использования эффективных воздействий на массив пород, реализация которых обеспечивает получение требуемых геомеханических, структурных и инженерно-технологических характеристик участка недр. В результате научных исследований установлены зависимости мощности изолирующего целика (m) в условиях сильнотрещиноватых массивов от прочности искусственного массива (σ) 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. Предложен принцип создания благоприятных горнотехнических 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.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений диссертационного исследования достигается за счет использования комплексного метода, включающего: 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.

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.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Ценность научной работы соискателя заключается в том, что на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований дана 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.

Научную новизну работы составляет принцип целенаправленного техногенного преобразования свойств массива горных пород, заключающийся в обосновании условий и параметров для перевода ранее забалансовых запасов в балансовые на основе изменения направления и порядка выемки, создания опережающего компенсационного пространства, отбойки в зажатой среде, формирования искусственных целиков, определенных классов систем разработки и их чередования и механизм техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород для создания благоприятных горнотехнических условий доработки запасов, включающий управление напряженно-деформированным состоянием и прочностными характеристиками массива горных пород путем формирования требуемой структуры массива, отличающийся учетом порядка и совокупности применения различных классов систем разработки при заблаговременном повышении степени подготовленности к разработке.

Результаты работы отличаются 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; подтверждаются согласованностью данных, полученных различными методами исследования между собой, с данными практики; положительными результатами применения научно-методических положений диссертации при промышленной апробации разработанных технологических решений на рудниках Урала.

Практическая ценность научных работ соискателя состоит в том, что в них отражены основные положения и результаты диссертационного исследования: конструировании технологических схем совокупной эксплуатации всех запасов участка недр и обосновании их параметров, обеспечивающих формирование заданных состояний, структур, свойств и состава массива горных по-

род на каждом этапе эксплуатации месторождения, обеспечивающего отработку всех запасов и интенсификацию отработки участка недр на медно-колчеданных и золоторудных месторождениях. Разработаны и оценены технологические решения по обеспечению рентабельности эксплуатации рудных месторождений с управляемым техногенным преобразованием массива горных пород.

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».

О стиле и языке диссертации и автореферата. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Диссертационная работа написана грамотным языком, оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автор использует общепринятую научную терминологию, что делает работу доступной для восприятия специалистами. Выводы и рекомендации работы изложены четко и лаконично. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям диссертации.

Представленная диссертация может быть квалифицирована как самостоятельное законченное научно-квалификационное исследование, соответствующее паспорту специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в проектно-исследовательских организациях при составлении проектной документации по освоению рудных месторождений, выполнении предпроектных научных исследований, а также на горных предприятиях при разработке эксплуатационных и инструктивных материалов. Целесообразно использовать результаты исследований при подготовке горных инженеров по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых». Очевидна связь полученных в работе результатов с основными направлениями исследований в смежных отраслях науки, такими как геомеханика, геология, экономика.

Приведенные выше соображения дают основания утверждать, что рассматриваемая диссертационная работа, безусловно, имеет практическую

значимость и представляет научный интерес.

Замечания по диссертации и автореферату:

Рассматриваемая диссертация, безусловно, имеет практическую значимость для горнодобывающих предприятий и представляет определенный интерес в научном плане. Однако, при прочтении работы возник ряд вопросов и замечаний:

1. В алгоритме рассмотрены схемы развития горных работ только в горизонтальной плоскости. **Вопрос:** Оказывает ли влияние нисходящий и восходящий способы разработки на изменения состояния массива горных пород?

2. **Вопрос:** Каковы параметры обнажения при определении мощности защитного слоя в зависимости от прочности закладки?

3. Работа безусловно имеет оригинальный характер. Однако, в работе не представлено видение дальнейшего возможного развития данного направления.

4. Высокий интерес представляет разработанная систематизация способов предварительного техногенного преобразования свойств и состояния массива горных пород. **Вопрос:** Возможно ли с учетом доработки создать классификацию, по которой можно было бы проектировать горные работы с учетом их техногенного преобразования в процессе эксплуатации?

5. В работе рассмотрены только физико-технические геотехнологии. Однако, во второй главе приведен анализ физико-химических геотехнологий. **Вопрос:** Возможно ли целенаправленно подготовить горный массив для дальнейшей отработки применением физико-химических геотехнологий?

Отмеченные замечания не снижают высокой теоретической значимости и практической ценности работы.

Заключение по работе

Представленная на отзыв диссертационная работа на тему «Обоснование параметров подземной геотехнологии при доработке рудных месторождений с целенаправленным преобразованием свойств и состояния массива горных пород» выполнена на актуальную тему, обладает новизной и практической ценностью. Основные результаты, положения и рекомендации диссертации широко апробированы и получили одобрение горной общественности на международных конференциях, раскрыты в 48 научных работах, в том числе в 15 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и в 6 в изданиях, индексируемых в базах Web Science и Scopus. Зарегистрирован 1 патент на изобретение. Автореферат соответствует основ-

ному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Мажитова Артура Маратовича является законченной научно-квалификационной работой, свидетельствующей о личном вкладе автора в науку, в которой разработаны и предложены новые научно-обоснованные геотехнологические решения, 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.

Представленная к защите работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертации, Мажитов Артур Маратович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

Диссертация и отзыв на нее рассмотрены на заседании кафедры горного дела ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

24 августа 2022 г., протокол № 11.

Профессор кафедры горного дела
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
горный университет»,
доктор технических наук, профессор
E-mail: niyaz.valiev@m.ursmu.ru
Адрес: 620144, Россия, г. Екатеринбург,
пер. Университетский, 9
Тел: +7 (343) 283-01-12



В.К. Багазеев

Багазеев Виктор Константинович согласен на обработку персональных данных.

Заместитель заведующего кафедрой, профессор кафедры горного дела ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
кандидат технических наук, профессор
E-mail: vladimir.propp@mail.ru
Адрес: 620144, Россия, г. Екатеринбург, пер. Университетский, 9
Тел: +7 (343) 283-01-12

В.Д. Пропп

Пропп Владимир Давыдович согласен на обработку персональных данных.

Личную подпись Багазеева Виктора Константиновича и Проппа Владимира Давыдовича удостоверяю

зам. рект. Отд. кадров ФГБОУ ВО УГГУ
Гамидов К.С.  25.09.2022



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО «УГГУ»)

Адрес: 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30

Телефон: +7 (343) 257-25-47; факс\тел: +7 (343) 251-48-38

E-Mail: office@ursmu.ru

Официальный сайт: <http://www.ursmu.ru/>