

На правах рукописи



НЕУГОМОНОВ СЕРГЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ
ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С УЧЕТОМ
ВОЗДЕЙСТВИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ
НАГРУЗОК**

Специальности: 2.8.8. Геотехнология, горные машины
2.8.6. Геомеханика, разрушение горных
пород, рудничная аэрогазодинамика и
горная теплофизика

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Магнитогорск – 2024

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

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Рыльникова Марина Владимировна

Официальные оппоненты:

Габараев Олег Знаурович

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

Кузьмин Евгений Викторович

доктор технических наук, профессор, главный специалист службы главного геолога Федерального государственного унитарного предприятия «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» ГК Росатом, г. Москва.

Макаров Александр Борисович

доктор технических наук, профессор, главный консультант по геомеханике СМТ Consulting (Russia), г. Москва.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**, г. Тула.

Защита диссертации состоится «28» ноября 2024 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета 24.2.324.06 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, ауд. 233.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



Корнилов Сергей Николаевич

Общая характеристика работы

Актуальность. Конструкции, возводимые в подземных выработках для обеспечения их устойчивости и технологической функциональности в условиях воздействия горного давления, как правило, состоят из бетонных, анкерных и металлических рамных крепей и их комбинаций. Выбор той или иной конструкции обосновывается условиями взаимодействия крепи выработок с горным массивом, т.е. определяется с учетом процесса совместного деформирования крепи и пород, приводящего при достаточной прочности крепи к механическому равновесию. Известны следующие режимы этого взаимодействия: заданной нагрузки, заданной деформации, взаимовлияющих деформаций.

В современных условиях добычи полезных ископаемых подземным способом проведение и крепление горных выработок осуществляется в сложных горно-геологических условиях. Характерным для них является проявление динамических воздействий, горного давления и повышенные деформации, связанные в том числе с изменением свойств массива во времени. Реализуемая технология обеспечения устойчивости горных выработок должна учитывать данные факторы. Существующие виды крепей, как правило, рассчитаны только на «жесткий податливый» или «ограничено податливый» режим деформирования. Таким образом, при совместном действии статических и динамических нагрузок не обеспечивается требуемая надежность, которая подразумевает выполнение заданных функций применяемой конструкции крепи: не сохраняет свои основные несущие характеристики, не обеспечивает безопасность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность крепи на заданный период эксплуатации горной выработки.

В данном аспекте обеспечение устойчивости горной выработки рассматривается как совокупность технологических процессов управления состоянием массива пород с учетом влияния различных факторов, таких как материал и конструкция крепи, способ и порядок их возведения и эксплуатации в пространстве и времени в условиях изменяющихся нагрузок для различных геологических, геомеханических и горнотехнических условий.

Известные методы выбора и обоснования параметров крепи основаны на преимущественно статически определяемых

показателях. Условия совместного влияния дополнительных нагрузок учитываются соответствующими коэффициентами, что, собственно, является одним из ограничивающих условий вариативности выбора того или иного вида крепи на стадии проектирования.

Так, например крепление подготовительных горных выработок в неустойчивых массивах преимущественно осуществляется с помощью тяжелых видов: металлических податливых рамных крепей или железобетона. Главными недостатками такого способа является высокая себестоимость крепи и низкий уровень механизации процесса крепления. Кроме того, проведенный анализ состояния выработок показывает, что использование металлической рамной крепи не всегда обеспечивает надежность её эксплуатации.

С 2016 г. при подземной разработке месторождений прогрессивно внедряется новый вид крепи, состоящей из анкеров с фрикционным закреплением, различного рода подхватов – армокаркасов и затяжек в виде сварной сетки, а также набрызгбетона. При этом отсутствуют принципы выбора и обоснования параметров крепи, обеспечивающие безопасность и надежность эксплуатации горных выработок. Нет результатов исследований особенностей взаимодействия фрикционных анкеров с закрепляемым массивом. Недостаточно изучены силовые параметры и особенности деформирования элементов конструкции при их комбинированном использовании. Отсутствуют рекомендации о выборе предпочтительного способа эффективного использования.

Таким образом, отсутствие методики выбора и обоснования параметров процессов обеспечения устойчивости горных выработок с использованием анкерной фрикционной крепи в условиях действия статических и динамических сил при разработке месторождений твердых полезных ископаемых определяет актуальность темы настоящих исследований.

Цель исследований. Развитие научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости горных выработок с учетом воздействия статических и динамических нагрузок и применением крепей на основе анкеров фрикционного вида закрепления для повышения эффективности и надежности эксплуатации горных выработок при подземной разработке месторождений.

Идея работы. Устойчивость подземных выработок в условиях высоких статических и динамических нагрузок обеспечивается соответствующим обоснованием параметров крепи на основе фрикционных анкеров, учитывающим особенности совместного влияния элементов конструкции крепи и их взаимодействия с массивом горных пород, осуществляющих дифференцированное поглощение энергии деформирования пород в приконтурных зонах выработки.

Основные задачи исследований:

- анализ методических принципов выбора способов обеспечения устойчивости подземных выработок и требований к видам и параметрам крепи с учетом оценки состояния массива при разработке месторождений твердых полезных ископаемых;

- исследование закономерностей формирования полей напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок в сложных геомеханических условиях;

- определение факторов обеспечения устойчивости подземных горных выработок и их влияния на выбор параметров крепи в сложных горно-геологических и геомеханических условиях;

- определение механизма взаимодействия фрикционной анкерной крепи и её элементов с массивом горных пород и разработка методики расчета параметров крепи;

- оценка нагрузочных характеристик, износостойкости и ремонтнопригодности элементов крепи горных выработок при воздействии высоких статических и динамических полей напряжений;

- обоснование методики выбора конструкции и параметров крепи на основе закономерностей распределения напряжений приконтурного массива;

- разработка технологических рекомендаций по обеспечению устойчивости горных выработок при разработке месторождений полезных ископаемых и оценка их экономической эффективности.

Объект исследований: технология обеспечения устойчивости подготовительных горных выработок в условиях действия напряжений, близких к пределу прочности породы, а также высоких динамических нагрузок при подземной разработке месторождений.

Предмет исследования: параметры процессов обеспечения устойчивости выработок с учетом особенностей изменения

напряженно-деформированного состояния массива горных пород в приконтурной зоне горных выработок при использовании анкеров с фрикционным закреплением.

Методы исследования. В исследованиях использован комплекс методов: анализ информации из источников научно-технической литературы по тематике диссертации, математическое моделирование, лабораторные, экспериментальные и натурные исследования, испытания свойств горных пород и руд, методы инструментальной оценки напряжений в приконтурных зонах горных выработок, промышленный эксперимент, математическая статистика и технико-экономическая оценка результатов.

Защищаемые положения:

1. Устойчивость подземных горных выработок в условиях действия высоких статических и динамических нагрузок обеспечивается комплексом мер, включающих оперативную оценку и контроль состояния приконтурного массива горных выработок и его взаимодействия с элементами крепи в соответствии с установленными особенностями их нагружения и деформирования во времени и пространстве.

2. В сложноструктурном массиве горных пород с различающимися прочностными и деформационными характеристиками следует использовать самозакрепляющиеся анкеры (СЗА), нагружение и деформирование которых происходит по всей длине стержня непосредственно после его установки, а несущая способность увеличивается по мере эксплуатации за счет воздействия сил от горизонтального смещения структурных частей массива.

3. В сложноструктурных массивах горных пород, в том числе склонных к динамическим формам проявления горного давления, тип и параметры крепи выбираются на основе выявленных закономерностей нагружения и деформирования её элементов, заключающихся в дифференцированном погашении энергии деформирования массива в приконтурной зоне горных выработок: в породах, склонных к потере прочности, по всей поверхности обнажения следует обеспечить формирование изолирующего слоя набрызгбетонной крепи в сроки не более 1/2–1 рабочей смены, что сократит вероятность возникновения высоких статических напряжений; в трещиноватых и нарушенных породах сохранение устойчивости обеспечивается за счет создания распределенного

подпора армокаркасом и предотвращения вывала «закрывающего блока», что сокращает вероятность дальнейшего развития процесса обрушения; динамическая нагрузка горных ударов компенсируется деформациями и податливостью анкерной крепи, в том числе созданием слоёв армированного набрызгбетона.

4. Увеличение несущей способности СЗА обеспечивается за счет увеличения в 2,5 раза площади сопряжения стержень-шпур, обусловленного действием введенной в полость стержня вставки из материала с модулем упругости ниже стали, например дерева, пластика и т.п.

5. Сохранение функциональности СЗА в условиях действия горных ударов обеспечивается совместной его деформируемостью с массивом горных пород за счет относительного удлинения стержня анкера и перераспределения несущей способности по всей его длине с увеличением силы трения по периметру шпура, сохраняя исходную прочность массива.

6. Оперативный контроль несущей способности самозакрепляющихся анкеров в процессе их возведения, основанный на регистрации смещений стержня в шпуре с использованием специального захвата, позволяет осуществлять корректировку параметров расположения и типоразмеров крепи, что повышает её надежность и устойчивость горной выработки в заданные сроки эксплуатации, а также ремонтпригодность, снижение трудоемкости и материалоемкости процессов крепления и перекрепления горных выработок.

Научная новизна работы:

1. Способ обеспечения устойчивости горных выработок, заключающийся в оперативной оценке состояния массива пород и отличающийся учетом выявленных закономерностей изменения свойств пород по длине анкера при выборе конструкции и порядка возведения крепи.

2. Механизм взаимодействия анкерной и комбинированной крепи со сложноструктурным массивом вмещающих пород, отличающийся оценкой распределения напряжений и деформаций в системе «массив пород-крепь» с учетом закономерностей нагружения и деформирования всех элементов крепи в параметрах пространства и времени.

3. Методика выбора конструкции самозакрепляющейся анкерной крепи, исходя из напряженно-деформированного

состояния массива горных пород, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия элементов крепи по длине анкера с разнопрочным и разномодульным массивом в ходе нагружения и деформирования при возведении и эксплуатации крепи.

4. Математическая модель расчета несущей способности и выбора параметров крепи на основании выявленных закономерностей деформирования фрикционного анкера при взаимодействии с породами в шпуре, заключающихся в проявлении внутренних реакций стержня анкера и демпфирующих вставок на деформирование участков массива с учетом свойств материалов крепи.

5. Закономерности изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива от влияния сорбционных свойств горных пород в период проведения выработки, заключающиеся в потере прочностных характеристик и устойчивости в определенный период времени после контакта вскрытого участка массива с рудничной атмосферой.

6. Методика выбора крепи с учетом закономерностей взаимодействия элементов крепи и массива горных пород, заключающихся в сохранении свойств массива при восприятии напряжений и развитии деформаций во время возведения и эксплуатации крепи.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных; использованием верифицированных инженерных и математических моделей, определяющих упругодеформированное состояние массива горных пород во взаимодействии с элементами крепи; положительными результатами опытно-промышленной проверки разработанных научно-технических решений; сопоставимостью достоверных результатов аналитических расчетов, экспериментальных исследований и данных практики.

Личный вклад автора заключается в постановке целей и задач исследования, формулировании основной идеи для достижения цели, в проведении исследования и разработке комплекса организационно-технических решений по обеспечению устойчивости выработок в условиях высоких статических и динамических нагрузок при подземной разработке месторождений, в совершенствовании методов расчета параметров крепи, в

обобщении результатов исследований, формулировании выводов и рекомендаций, в технико-экономическом обосновании и опытно-промышленной апробации технологических рекомендаций, в подготовке публикаций по теме диссертации в научно-технических журналах.

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии научно-методических основ обеспечения устойчивости горных выработок в сложных геомеханических условиях, в разработке методики выбора усовершенствованных конструкций крепи с учетом оценки надежности и безопасной эксплуатации в заданный период времени в условиях высоких статических и динамических нагрузок.

Практическая ценность работы. Использование выводов, рекомендаций и методических положений диссертации для обеспечения устойчивости горных выработок в условиях действия высоких статических и динамических нагрузок, безопасности и эффективности горных работ; в использовании методики оценки и выбора конструкции и параметров крепей, несущей способности, износостойкости и ремонтнопригодности крепи горных выработок при разработке инструкций и паспортов крепления на шахтах Артемовская и Орловская ТОО «Востокцветмет», «ШДНК» и «Молодежная» АО «ТНК «Казхром», «УГМК-Холдинг»; обосновании технических требований для изготовления и использования анкеров с фрикционным видом закрепления, а также усовершенствования технологии анкерного крепления подземных горных выработок.

Реализация работы. Результаты исследований положены в основу рекомендаций и технических решений при проведении и креплении горных выработок на подземных рудниках ТОО «Востокцветмет», АО «ТНК «Казхром», «УГМК-Холдинг» и др. Совокупный годовой экономический эффект от применения предложенной технологии сократит до 15% затраты при проведении и креплении выработок. Требования к материалам и конструкции анкерной крепи сформулированы в изменениях №1 и №2 ГОСТ 315592012 «Крепи анкерные. Общие технические условия», изменении № 1 ГОСТ Р 54773-2011 «Крепи анкерные. Методы испытаний анкеров». Регистрация в Федеральном информационном фонде стандартов ТУ 25.11.23.112-001-99309033-2023 «Крепь анкерная фрикционная».

Теоретические и экспериментальные результаты исследований используются в лекционных курсах, лабораторных и практических занятиях по дисциплинам: «Проведение и крепление горных выработок», «Технология и безопасность взрывных работ», «Процессы подземных горных работ» при подготовке инженеров в ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Апробация работы. Результаты работы, основные положения и выводы доложены на международных научных симпозиумах и конференциях: «Неделя горняка» (г. Москва, 2016-2024 гг.), «Технический совет по геомеханике» НИТУ МИСиС (г. Москва, 2019-2024 гг.); конференция «Майнекс Дальний Восток 2019» (г. Хабаровск), Международная научно-техническая конференция «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2017, 2019, 2021, 2023 гг.), ежегодные научно-технические конференции МГТУ им. Г.И. Носова (г. Магнитогорск).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 37 работ, в том числе 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 патента на изобретение.

Объем и структура работы: диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка из 170 наименований и содержит 334 страницы машинописного текста, 186 рисунков, 109 таблиц.

Работа выполнена в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на кафедре «Разработки месторождений полезных ископаемых».

Основное содержание работы

За последние десятилетия проведение горных выработок при подземной добыче полезных ископаемых осуществляется на глубинах более 500–600 м, где характерным является усложнение горно-геологических условий. Нарушается равновесие в состоянии массива пород, происходит динамическое перераспределение напряжений, увеличиваются деформации пород, проявляющиеся в смещениях стенок и кровли выработок, прогибах слоев, что обуславливает развитие трещин и разупрочнение. Характерным также является изменение свойств массива пород, часто дополненное усложнением горного давления, вплоть до проявления горных ударов, что приводит к выходу горных выработок из состояния эксплуатационной готовности. Это определяет рост интенсивности неуправляемых обрушений, нарушения и выхода из строя элементов горной крепи и, собственно, повышает риск инцидентов и несчастных случаев, что вызывает технические и социально-экономические проблемы.

Эффективная эксплуатация горных выработок с соответствующим обеспечением их устойчивости является наиболее сложным и трудоемким процессом геотехнологии и задачей геомеханики. Решение проблемы обеспечения устойчивости подземных выработок с учетом воздействия на них статических и динамических сил при обосновании параметров крепи является одной из основных для повышения технико-экономической эффективности подземной добычи полезных ископаемых.

Учитывая появление новых материалов и конструкций крепи, обоснование механизмов взаимодействия системы крепь-массив, условий разрушения пород, оценки устойчивости подземных конструкций при различных условиях нагружения представляет актуальную задачу для практики эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых, требующей новых подходов и методов расчета параметров обеспечения устойчивости горных выработок в заданный период эксплуатации. Несмотря на многочисленность выполненных исследований, недостаточно изучены особенности совместного влияния переменных нагрузок на состояние массива пород в приконтурной зоне подземных выработок и условий его взаимодействия с крепью. Ряд

принципиальных вопросов, связанных с геомеханической оценкой состояния массива горных пород в подготовительных выработках в течение всего проектного срока эксплуатации, недостаточно изучен и нуждается в совершенствовании. Особо актуальными являются исследования, направленные на разработку научно обоснованных способов и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах геологических нарушений, проявлении динамических форм повышенного горного давления. Поддержание подготовительных выработок стимулирует поиск новых технических решений по совершенствованию конструкции и методов расчета параметров крепи. Необходимы дополнительные аналитические и экспериментальные исследования, моделирование состояния массива и проверка их в производственных условиях.

В **первой главе** диссертации проведен анализ условий и обобщен опыт обеспечения устойчивости горных выработок при подземной разработке месторождений.

Для пород вокруг подготовительных выработок характерным, как правило, является наличие зональной дезинтеграции. Основным признаком является разрушение массива на контуре и в глубине с образованием чередующихся зон нарушенных и условно ненарушенных пород, повторяющих контур выработки. При этом породы приобретают структуру и свойства слоистого массива. Крепление выработок в таких условиях целесообразно осуществлять сочетанием различных видов крепи. Для вновь подготавливаемых горизонтов, в случае применения жестких видов крепи, выработки располагают за пределами областей прогнозируемых повышенных и критических деформаций.

Современные методы выбора и расчета параметров крепи основаны на получении статических детерминированных величин: глубина размещения выработки, максимальные напряжения в массиве горных пород; предельные значения физико-механических свойств горных пород, характеристик материалов крепи; характера и степени влияния других выработок и прочих дополнительных воздействий. За критерий оценки устойчивости закрепленных подготовительных выработок, пройденных вблизи тектонических нарушений, принята предельная величина смещений их контура. Выбор конструкции и параметров крепи осуществляется на основе определяемых характеристик устойчивости и соблюдения условий соответствия её несущих характеристик статическим напряжениям

в массиве горных пород с учетом дополнительных воздействий, путем введения коэффициентов. Следствием погрешности данного метода является то, что установка крепи с излишней несущей способностью становится причиной неоправданных высоких непроизводительных затрат, а при недостатке несущей способности происходит выход выработок из эксплуатации.

Значительный объем теоретических работ, выполненных в России и за рубежом, определил основные направления совершенствования технологии обеспечения устойчивости горных выработок путем их расположения, охраны и крепления. Исследованиями в области оценки состояния массива и укрепления пород занимались известные ученые в нашей стране и за рубежом. Большинство фундаментальных методов инженерных расчетов опирается на теорию свода М.М. Протодяконова. В мировой практике при проходке выработок используют рейтинговые классификации массивов горных пород, в которых устойчивость массива оценивают в баллах.

Таким образом, цель настоящих исследований – развитие научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости горных выработок с учетом воздействия статических и динамических нагрузок с применением крепей на основе анкеров фрикционного вида. На основе цели, по итогам выполненного анализа существующих научно-методических основ обеспечения устойчивости выработок, определены соответствующие задачи исследований.

Вторая глава посвящена научно-методическим основам выбора типа и обоснования параметров крепи горных выработок в сложных горно-геологических условиях. Осуществлена систематизация методов проектирования и выбора типа, конструкций и параметров крепи, соответствующей условиям разработки месторождений с учетом специфики напряженно-деформированного состояния приконтурной зоны выработок. Определены принципы совершенствования конструкций крепи с учетом специфических требований обеспечения устойчивости подземных выработок, а также совместного действия статических и динамических нагрузок при обосновании параметров крепи.

Рейтинговые системы качественной оценки массива горных пород по устойчивости получили широкое применение при тоннелестроении. За последние 15-20 лет они успешно

применяются при проходке горных выработок на подземных горных работах. Преимущество рейтинговой оценки качества массива заключается в том, что решение о степени устойчивости принимается на основе наблюдений за фактическим состоянием выработки, при этом значительно упрощается процесс выбора крепи в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий.

Особый интерес представляют массивы пород, которые обладают естественной устойчивостью и прочностью, но в результате проходки выработки они изменяют свои свойства и переходят в состояние неустойчивых и весьма неустойчивых. Результаты обследования выработок, пройденных в данных породах, показали, что металлическая рамная податливая крепь не всегда обеспечивает устойчивость массива и не предотвращает развитие деформаций. Главными недостатками такого способа крепления является высокая себестоимость и низкая производительность возведения крепи, высокие затраты на её восстановление. За период возведения крепи массив успевает перейти из устойчивого состояния в неустойчивое. В настоящее время при подземной разработке месторождений наиболее прогрессивным видом считается активная крепь – взаимодействующая с массивом горных пород. Активная крепь состоит, как правило, из трех основных элементов: анкер; подхваты или затяжки из сетки; набрызгбетон.

На основе обобщения известных способов крепления, обеспечение устойчивости рассматривается как совокупность технологических процессов управления состоянием массива, включая оценку самого массива и факторов, влияющих на его устойчивость. В том числе материалы и конструкцию крепи, способ и порядок их использования в пространстве и времени для безопасной эксплуатации горных выработок.

На основании исследований, включающих лабораторные испытания прочностных характеристик пород, оценку параметров поля напряжений вокруг выработок, лабораторные испытания элементов конструкции крепи с целью выявления условий взаимодействия активной крепи с массивом, опытно-промышленные испытания в условиях разработки ряда рудников Казахстана и России, доказывается, что сочетание «анкерная крепь – подхваты – набрызгбетон» при различных условиях действия

нагрузок, учитывая способ и период возведения, способно обеспечить устойчивость подземных выработок в условиях совместного действия повышенных статических и динамических нагрузок. Это позволяет сформулировать первое защищаемое положение.

Третья глава посвящена исследованиям параметров взаимодействия крепи и массива пород, оценке условий изменения состояния устойчивости пород, изучению напряженного состояния и закономерностей деформирования приконтурного массива горных выработок, физических характеристик элементов крепи.

Согласно графику реакции массива и крепи (рисунок 1), характеризующего зависимость деформации от давления на крепь, в случае, когда напряжения в породе близки или превышают предельные, развиваются пластические деформации. В упругой зоне нагрузка уменьшается. В условиях низких напряжений линия 1 стремится к нулю, в этой ситуации нет необходимости в креплении.

При более высоких значениях напряжений развиваются пластические деформации – линия 2. При этом имеет место реакция породы, показанная линией номер 3. Причиной увеличения нагрузки является развитие зоны пластических деформаций и увеличение размеров и силы тяжести нарушенных пород в своде естественного равновесия.

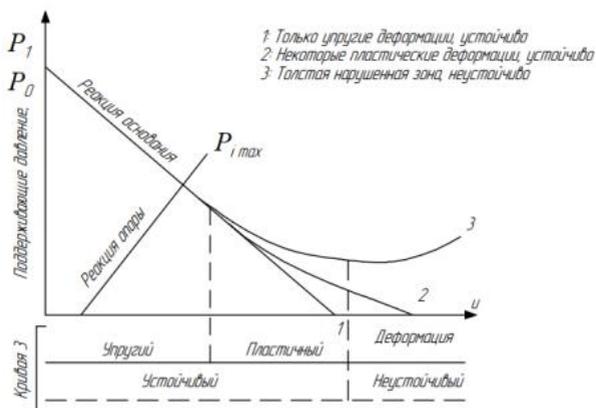


Рисунок –1. График изменения деформаций от нагрузок при взаимодействии «крепь-массив»

Проведен комплекс лабораторных исследований по определению физико-механических характеристик, водопоглощения и сорбции пород на ряде рудников Казахстана. В результате установлено, что значение водопоглощения пород находится в пределах 1-2%. Это негативно сказывается на устойчивости, что фактически выражается обрушением приконтурной части пород вокруг закрепленных анкеров. Основные процессы разупрочнения горных пород проходят в период до 24 часов. В период с 6 до 18 часов после обнажения горные породы напитываются влагой, увеличивается их масса, снижается сцепление, что приводит к процессам их обрушения. С 24 до 48 часов насыщение и разупрочнение пород на глубину до 0,6 м от контуров выработки затухает, и если произошло частичное или полное обрушение этой зоны, то процессы переходят в глубину массива пород.

Результаты лабораторных испытаний свойств пород явились исходными данными для построения и расчета геомеханической модели. Процесс снижения прочности горных пород в результате влияния влажности рудничной атмосферы моделировался путем разделения приконтурной зоны выработки на три слоя, изменяющихся прочностных характеристик (рисунок 2).

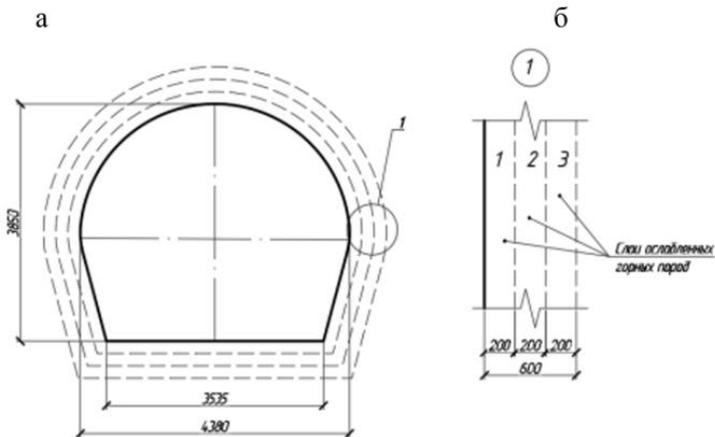


Рисунок 2 – Расчетная схема к моделированию напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки:

а – размеры поперечного сечения выработки; б – размеры зон разупрочнения приконтурного массива

Изменение прочностных характеристик пород учитывалось в порядке, указанном в таблице 1.

2. Изотропная модель – трещиноватость горного массива моделировалась материалом Хука-Брауна, значение геологического индекса прочности (GSI) для пересчёта свойств образцов пород в массиве осуществлялось по результирующим смещениям на контуре выработки так, чтобы они соответствовали смещениям по анизотропной модели. Так, для GSI=70 погрешность моделирования составила не более 1%. Изменение средних величин смещений на контуре выработки представлено на рисунке 4.

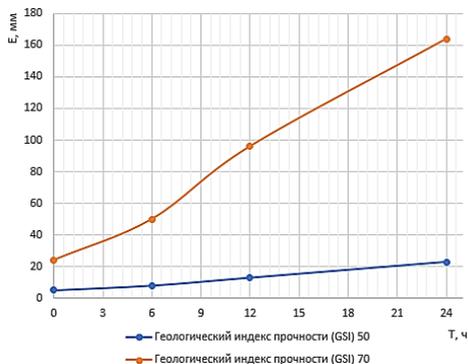


Рисунок 4 – Изменение средней величины смещений во времени для различных значений геологического индекса прочности

На основании полученных результатов сделан вывод: чтобы сохранить устойчивость выработок, необходимо обеспечить сохранение естественных связей структурных элементов массива и предотвратить локальные вывалы, которые приводят к принципу «домино»: при обрушении единичной отдельности массива – «ключевого блока» – процессы разупрочнения развиваются в глубину, приводя к более увеличенным объемам разрушения, что, собственно, и наблюдается во многих подготовительных выработках.

Параметры крепи необходимо изменять с учетом неравномерного изменения деформирования породы. Анкеры в большей мере способны перераспределять часть энергии характерных деформаций, чем поверхностно-удерживающие элементы (сетка и набрызгбетон) в прочной горной породе, в то время как поверхностно-удерживающая крепь рассеивает больше энергии в более мягких и слабых массивах.

Комбинация жесткой и податливой крепи не обеспечивает удовлетворительных результатов из-за разницы в деформируемости жестких и податливых элементов. Податливая крепь представляется предпочтительным вариантом, в том числе для борьбы с динамическими проявлениями горного давления.

Всем перечисленным условиям может удовлетворять конструкция на основе самозакрепляющегося анкера (далее СЗА) – тип фрикционной анкерной крепи, усиленная армокаркасом, набрызгбетоном и армирующей сеткой.

Каждый элемент крепи выполняет свою функцию обеспечения устойчивости. Общая работоспособность крепи определяется условиями работы её элементов: для интенсификации проходки выработок необходимо, чтобы не накапливались напряжения на контуре, что может быть обеспечено установкой СЗА+армокаркас, а далее с отставанием - набрызгбетон. При этом анкер+армокаркас является податливым элементом, а конструкция армокаркас + бетон – жесткой обделкой. При горных ударах, для усиления крепи она может дополниться очередным слоем торкретбетона с сеткой. В слабых неустойчивых породах принцип аналогичен и крепь, в зависимости от порядка установки её элементов, также воспринимает и компенсирует нагрузки вслед за проходкой: первый защитный слой торкретбетона предотвращает процесс разупрочнения пород, далее СЗА-армокрепь начинает воспринимать нагрузки в зоне опорного давления, второй слой торкрета приводит систему крепи в жесткий режим работы с определенной податливостью. На последнем этапе, в случае необходимости, сетка с третьим уровнем установленных усиливающих элементов (арматурные арки, рамы и т.п.) и набрызгбетона. Данная конструкция позволяет управлять состоянием крепи и ее элементов на всех стадиях возведения, а также является ремонтнопригодной без необходимости демонтажа крупных нагруженных элементов.

Это явилось основанием для формулировки второго и третьего защищаемого положения.

Для обоснования условий обеспечения устойчивости с использованием предлагаемых конструкций крепи проведены исследования взаимодействия элементов крепи с массивом.

Лабораторными испытаниями были определены условия взаимодействия с породами и формирования грузонесущих

характеристик стержней фрикционных анкеров и элементов конструкции крепи: опорный узел, плита, армокаркас. При этом испытывались образцы различных конструктивных решений и технологии производства крепи. Определены параметры изменения нагрузочной способности и деформаций. Результаты испытаний легли в основу разработки принципиально новой конструкции для условий приложения динамических нагрузок. Также разработана форма опорного узла, позволяющая при высоких нагрузках (до 12–15 т) деформироваться до 45 мм.

Наиболее сложным является повышение несущей способности стержня анкера, установленного в шпур – $F_{ш}$. Её величина определяется силой трения на поверхности сопряжения стержень – шпур.

Анализ деформации стержня анкера, выполненный на макете шпура, выявил особенности взаимодействия стенок анкера и шпура (рисунок 5). Сопряжение поверхностей стенок шпура и анкера происходит на части профиля менее 50%. Безконтактная зона определяется углом β и составляет $110 - 120^\circ$. При этом в точках C, C_1, B, B_1 имеет место сосредоточенное действие нагрузок соответственно R_C, R_{C1}, R_B, R_{B1} , а распределенная нагрузка q^* действует только на участке BB_1 .

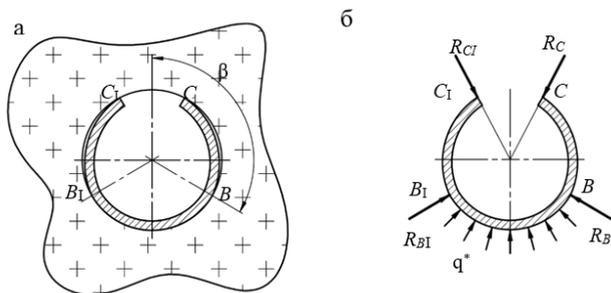


Рисунок 5 – Схема взаимодействия профиля анкера СЗА с породой:

а – установленного в шпур; б – схема нагружения

Повышение силы трения возможно за счет увеличения зоны сопряжения стенок анкера и шпура. Принципиальное изменение схемы нагружения стержня анкера обеспечивается в предложенном техническом решении. В переднюю часть стержня анкера с цилиндрическим поперечным сечением устанавливается вставка из

материала, имеющего модуль упругости E_B ниже модуля упругости стали (рисунок 6, а). При установке в шпур вставка деформируется в радиальном направлении (рисунок 6, б), и на всей внутренней поверхности стержня создается распределенное давление q (рисунок 6, в).

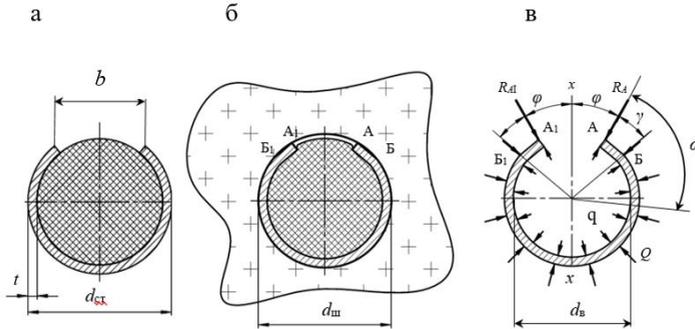


Рисунок 6 – Поперечное сечение, выполненное в передней части стержня:

а – сечение стержня анкера до установки в шпур;
б – после установки в шпур; в – схема нагружения стержня анкера

Это доказывает четвертое научное положение.

Для анализа влияния указанных параметров стержня анкера и вставки разработана аналитическая модель, связывающая их с несущей способностью $F_{ш}$, для чего приняты следующие допущения:

- материал вставки изотропен в радиальном направлении;
- порода в контурах сечения шпура не деформируется и не разрушается;
- стержень анкера деформируется упруго;
- на участке сопряжения от Б до B_1 внешний диаметр стержня равен диаметру шпура;
- нагружение относительно продольной оси симметрично.

Рассматривается только часть стержня анкера, в пределах которой установлена вставка. В связи с тем, что взаимодействие стержня и прилегающих пород по длине неизменно, в дальнейшем исследуется часть стержня протяженностью в $l = 1$ мм.

Принятая схема нагружения представлена на рисунке 6, в. В точках А и A_1 действуют сосредоточенные силы, соответственно

R_A и R_{A1} . На поверхности стержня действуют распределенные нагрузки: на внешней поверхности от точки Б до $B_1 - Q, \text{ Н/мм}^2$, на внутренней поверхности рассредоточенная нагрузка $q, \text{ Н/мм}^2$.

Исходные параметры для расчета:

$d_{ш}$ – диаметр шпура мм;

$d_{ст}$ – внешний диаметр стержня, мм;

$E_{вс}$ – модуль упругости материала вставки, Н/мм^2 ;

$H_{вс}$ – длина вставки вдоль оси стержня, мм;

t – толщина стенки стержня, мм;

$d_{вс}$ – диаметр вставки, мм.

Нагрузочная способность стержня анкера

$$F_{ш} = (Q \cdot l_{\Pi} + 2 R_A) \cdot H_{вс} \cdot f_{тр}, \quad (1)$$

где l_{Π} – длина линии сопряжения стержня и шпура от Б до B_1 , мм;

$f_{тр}$ – коэффициент трения покоя системы «анкер–шпур».

Распределенная нагрузка q определяется из условия упругой деформации вставки. Опуская промежуточные преобразования, можно записать

$$q = E_{вс} [d_{вс} - (d_{ш} - 2 t)]/d_{вс}. \quad (2)$$

На участке BB_1 имеет место постоянная кривизна, что возможно только при постоянной величине изгибающего момента:

$$M_{BB_1} = E \cdot J_{xx} \cdot \rho^I, \quad (3)$$

где E – модуль упругости стержня анкера, Н/мм^2 ,

J_{xx} – момент инерции поперечного сечения части стержня, мм^2 ,

$$J_{xx} = l \cdot t^3/12, \quad (4)$$

ρ^I – изменение кривизны на участке BB_1 ,

$$\rho^I = \frac{2(d_{ст} - d_{ш})}{(d_{ст} \cdot d_{ш})}. \quad (5)$$

Зависимость (3) применима, если напряжения, возникающие в стенке стержня, не превышают предела текучести $\sigma_{т}, \text{ Н/мм}^2$. В противном случае, момент рассчитывается как

$$M_{\text{ББ1}}^I = \sigma_T \cdot W_{\text{xx}}, \quad (6)$$

где W_{xx} момент сопротивления сечения изгибу, мм³,

$$W_{\text{xx}} = l \cdot t^2 / 6. \quad (7)$$

В произвольном сечении на участке ББ₁, положение которого фиксируется углом α , момент сопротивления анкера определяется выражением

$$M_{\text{ББ1}} = 0,5R_A \cdot d_{\text{ш}} \cdot \sin\alpha + 0,125Q \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot \sin^2(\alpha - \gamma) + \\ + 0,125Q \cdot d_{\text{ш}}^2 [1 - \cos(\alpha - \gamma)]^2 - 0,125q \cdot \\ d_{\text{вс}}^2 \cdot \sin^2\alpha - 0,125q \cdot d_{\text{вс}}^2 \cdot (1 - \cos\alpha)^2. \quad (8)$$

Преобразовав выражение (8), выделив из него сомножители, содержащие угол α , получим:

$$M_{\text{ББ1}} = \sin\alpha (0,5R_A \cdot d_{\text{ш}} - 0,25Q \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot \sin\gamma + 0,25q \cdot d_{\text{вс}}^2 \cdot \sin\gamma) - \\ - \cos\alpha (0,25Q \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot \cos\gamma - 0,5q \cdot d_{\text{вс}}^2 \cdot \cos\gamma) + (0,25Q \cdot d_{\text{ш}}^2 - \\ - 0,25q \cdot d_{\text{вс}}^2). \quad (9)$$

Значение момента $M_{\text{ББ1}}$ будет постоянным, если первое и второе слагаемые равны нулю:

$$R_A \cdot d_{\text{ш}} - 0,5Q \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot \sin\gamma + 0,5q \cdot d_{\text{вс}}^2 \cdot \sin\gamma = 0; \quad (10)$$

$$0,5Q \cdot d_{\text{ш}}^2 \cdot \cos\gamma - q \cdot d_{\text{вс}}^2 \cdot \cos\gamma = 0. \quad (11)$$

При этом из третьего слагаемого, равного постоянному моменту $M_{\text{ББ1}}^{\text{III}}$ (или $M_{\text{ББ1}}^I$), может быть определена величина Q :

$$Q = (4 M_{\text{ББ1}}^{\text{III}} + q \cdot d_{\text{вс}}^2) / d_{\text{ш}}^2. \quad (12)$$

Уравнение (10) содержит две неизвестные величины – γ , R_A . Силы R_A и R_{A1} могут действовать как сосредоточенные только в крепких породах с коэффициентом крепости 15 и более. В менее крепких породах силы будут действовать в пределах некоторых площадок в виде распределенной нагрузки. Протяженность единичной площадки, выраженная через угол τ (рисунок 7, а), будет определяться прочностью породы на одноосное сжатие $\sigma_{\text{сж}}$, Н/мм²

$$R_A / [l \cdot (\tau \cdot 0,5d_{\text{ш}})] \leq \sigma_{\text{сж}}. \quad (13)$$

Исходя из этого положения:

$$R_A = \sigma_{\text{сж}} \cdot l \cdot (\tau \cdot 0,5d_{\text{ш}}). \quad (14)$$

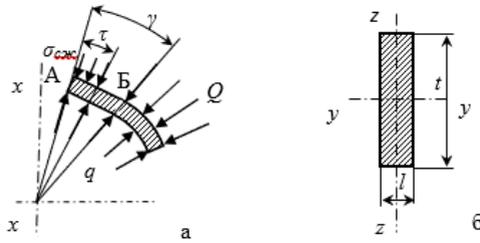


Рисунок 7 – К анализу нагружения участка АБ:
а – схема нагружения; б – параметры поперечного сечения участка единичной длины $l = 1$ мм

При этом угол сопряжения τ не может превышать угол γ (см. рисунок 7, а).

Изгибающий момент, выраженный через нагрузки, действующие «слева» от сечения, проходящего через точку Б, имеет вид

$$M_{\text{ББ1}} = \sigma_{\text{сж}} \cdot 1 \cdot (\tau \cdot 0,5d_{\text{ш}}) \cdot [0,5 d_{\text{ш}}^{\square} \cdot \sin(\gamma - 0,5\tau)] - (0,5 d_{\text{вс}}^{\square} \cdot \gamma \cdot q) \cdot (0,5 d_{\text{вс}}^{\square} \sin\gamma/2). \quad (15)$$

Неизвестные углы τ и γ определяются из совместного решения уравнений (10) и (15) после соответствующих подстановок.

Угол φ определяется путем вычислений по исходным данным и найденным значениям углов.

Замеры диаметров стержня анкеров со вставкой, извлечённых из шпура, показали, что максимальная разница размеров в перпендикулярных направлениях составляет не более 0,4 мм.

Зазор между вставкой и внутренней поверхностью стержня в зоне паза не зафиксировано. Изменение несущей способности (таблица 2) говорит о том, что наличие вставки длиной 200 мм обеспечивает приращение нагрузки в среднем 26700 Н.

При совместном решении уравнений (10) и (15) получены значения углов $\tau = 5,3^{\circ}$, $\gamma = 7,2^{\circ}$. Модуль упругости дерева зависит от влияния совокупности факторов, в расчетах принят равным 350 МПа. Коэффициент трения по опыту сталь-мрамор - 0,25. Результаты расчета показали $Q=7,73$ Н/мм², $F_{\text{ш}} = 45932$ Н.

Таблица 2 – Результаты экспериментальной оценки несущей способности анкеров

№ п/п	Анкер	Диаметр стержня, мм		Несущая способность, Н
		перед установкой	после извлечения	
1	Без вставки	47,9	42,9–43,3	31000
2	Без вставки	48,1	43,0–43,5	32000
3	Без вставки	48,3	42,8–43,4	31000
4	Со вставкой	48,0	44,1–44,4	54000
5	Со вставкой	48,2	44,2–44,6	55000
6	Со вставкой	48,1	44,4–44,6	53000

Расхождение расчетной величины $F_{ш}$ с экспериментальными значениями составило 38%. Это обусловлено тем, что в расчетах использовались справочные значения $f_{тр}$, $\sigma_{сж}$, $E_{вс}$. Для более точного определения значения $F_{ш}$ следует использовать экспериментальные значения. Следует отметить, что перечисленные параметры влияют на величину $F_{ш}$ линейно, а следовательно, предложенная аналитическая модель позволяет качественно оценить степень влияния характеристик усиления фрикционного анкера на его несущую способность.

На основании представленных зависимостей и механизма взаимодействия модернизированного анкера с массивом пород, обосновано пятое защищаемое положение.

В **четвертой** главе диссертации приведены результаты исследований усовершенствованных конструкций крепи и условий их эффективного применения на основе оценки влияния грузонесущих характеристик элементов крепи на её общую работоспособность.

С учетом закономерностей нагружения крепи в породах разноструктурной кровли, разработана принципиально новая конструкция фрикционного анкера, имеющая зону усиленного фрикционного взаимодействия. Конструктивно это является комбинацией двух типов закрепления: формирование замковой части в торце анкера совместно с фрикционным закреплением по всей его длине, что позволяет повысить нагрузку на анкер в породах с низкой крепостью – f от 3 по шкале проф. Протодьконова. Замковая часть представляет собой вставку длиной 200–300 мм, усиливающей фрикционный контакт (УФК), из материала с

модулем упругости, равным или меньше модуля упругости стали, а стальной стержень за местом установки вставки имеет участок с некруглым сечением профиля. В качестве вставки по результатам испытаний зарекомендовали себя полимер и дерево-полимер.

В процессе опытно-промышленных испытаний реализован следующий порядок выбора и обоснования конструкции крепи:

1. Сбор и анализ проектных (исходных) данных по проведению и креплению выработки.

2. Оценка устойчивости массива по показателям качества (рейтинговая классификация).

3. Выбор конструкции и расчет параметров крепи по условиям сводообразования. Выбор типоразмера анкера (исходя из параметров бурового инструмента).

4. Определение факторов, влияющих на снижение устойчивости (изменение первоначальных характеристик массива).

5. Определение фактической несущей способности стержня анкера.

6. Корректировка параметров крепи (диаметр, длина, материал стержня, АКП, шаг установки крепи, порядок возведения).

Для определения параметров и оценки условий работы анкерной крепи с целью корректировок и определения параметров крепления, разработана конструкция переходных устройств, позволяющая прикладывать нагрузку к любому установленному анкеру, что собственно отличает её от ранее известного метода испытаний, где для испытаний несущей способности использовалось заранее установленное кольцо, что ограничивало количество испытываемых анкеров.

В результате сформулировано шестое защищаемое положение.

В **пятой и шестой главах** диссертации приведены результаты опытно-промышленных испытаний предложенных видов крепи и расчеты достигнутой технико-экономической эффективности при реализации технологических решений. Положительные результаты многочисленных промышленных испытаний подтверждают правильность предложенного метода обоснования параметров крепи. Для Артемьевского, Орловского, Молодежного рудников, Шахты 10-летия независимости Казахстана, обоснованы параметры обеспечения устойчивости выработок с использованием анкерной крепи фрикционного вида.

Обоснованные рекомендации по технологии обеспечения устойчивости отражены в руководствах и инструкциях по обеспечению устойчивости горных выработок горных предприятий. Результаты исследований также явились основой соответствующих требований к изготовлению и методам испытаний фрикционной анкерной крепи, отраженных в документах в области стандартизации, используемых на территории Российской Федерации и Таможенного союза.

Заключение

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, представлено решение актуальной научно-методической и практической проблемы обеспечения устойчивости подземных выработок в условиях высоких статических и динамических нагрузок с использованием анкеров фрикционного вида на основе развития научно-методических основ выбора и обоснования параметров крепи, учитывающих особенности совместного влияния и взаимодействия элементов конструкции крепи с массивом горных пород, осуществляющих дифференцированное поглощение элементами крепи энергии деформации пород в приконтурных зонах выработки, что имеет важное значение для развития горнодобывающей отрасли России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что при увеличении глубины горных работ в зоне влияния очистных работ характер распределения нагрузок в породах приконтурной зоны подготовительных выработок является статически неопределимым, что фактически приводит к потере функциональности проектных конструкций крепи, в том числе при использовании металлической арочной податливой крепи, характеризующейся максимальными значениями несущей и деформационной способности. В период планируемого срока эксплуатации выработок до 30% их участков выходят из строя и требуют внеплановых ремонтов и перекрепления вследствие действия высоких статических и динамических нагрузок.

2. В результате анализа методических принципов выбора способов обеспечения устойчивости подземных выработок и требований к видам и параметрам крепи с учетом оценки состояния массива горных пород при разработке месторождений твердых полезных ископаемых выявлено, что эффективность

горнотехнической системы «порода-анкер-подхват-набрызгбетон» обеспечивается при реализации технологии, учитывающей механизм совокупного нагружения и деформирования составляющих элементов крепи в пространстве и во времени при условии соблюдения установленного порядка её возведения.

3. На основании выявленных закономерностей дезинтеграции приконтурного массива пород доказано, что при проходке подготовительных горных выработок в околорудной зоне породы после обнажения активно вступают в реакцию с шахтной атмосферой. Основные процессы разупрочнения горных пород проходят в интервале от 0 до 24 часов после обнажения. При этом в период с 6 до 18 часов горные породы активно напитываются влагой, в них снижается сцепление, ослабляя структурные контакты, что приводит к процессам обрушения. Далее с 24 до 48 часов процессы сорбции замедляются в зоне до 0,6 м от контуров выработки. Затем, если произошло частичное или полное обрушение этой зоны, процессы переходят вглубь массива горных пород. С учетом этого должно определяться технологическое отставание крепи от забоя: так, например, в течение не более 1/2–1 смены необходимо нанести покрывающий слой набрызгбетона или осуществить затяжку поверхности пород, предотвращающую последующие вывалы.

4. Выявлено, что окружающая выработку порода подвержена повышенным нагрузкам в зоне, превышающей диаметр выработки в 2 раза. В области непосредственно за забоем, также на расстоянии примерно 2-х диаметров выработки, период интенсивного роста нагрузки составляет от нескольких часов до суток. Устойчивость приконтурного массива определяется в том числе скоростью проходки: при использовании технологии крепления с металлической арочной податливой крепью проходческий цикл (бурение-взрывание-проветривание-уборка-крепление) составляет 2–3 смены. Применение комбинированной крепи на основе СЗА позволяет сократить проходческий цикл до 1 рабочей смены.

5. Установлено, что в сложноструктурном массиве горных пород с различающимися прочностными и деформационными характеристиками использование самозакрепляющихся анкеров с распределением нагрузки и энергии деформирования массива пород по всей длине стержня непосредственно после установки анкера обеспечивает его несущую способность не менее 50 кН, при

этом величина несущей способности может расти по мере эксплуатации до 70–90 кН за счет воздействия сил горизонтального зажима.

6. На основе выявленных закономерностей деформирования фрикционного анкера и разработанной математической модели расчета его несущей способности предложена принципиально новая конструкция, имеющая зону усиленного фрикционного взаимодействия, позволяющая реализовать комбинацию двух типов закрепления: создание замковой части анкера и фрикционное закрепление по всей длине, что в породах с крепостью f от 3 по шкале проф. Протодьконова позволяет увеличить несущую способность СЗА до 2,5 раз за счет увеличения площади сопряжения по контакту стержень-контур шпура при введении в полость стержня вставки длиной 200–300 мм из материала с модулем деформации ниже стали, например дерево, пластик, дерево-полимер, витая пружина и т.п., при этом стальной стержень за местом установки вставки имеет участок с некруглым сечением профиля.

7. Предложенный порядок выбора элементов конструкции крепи на основе СЗА учтен в разработанной методике обоснования параметров технологии обеспечения устойчивости горных выработок на основе контроля несущей способности крепи при её возведении и эксплуатации, а также регистрации смещений стержня в шпуре с использованием специального захвата, позволяющего нагружать анкер до 120–150 кН и определять фактическую несущую способность всех элементов формируемой конструкции.

8. Обосновано, что обеспечение устойчивости при динамических нагрузках в условиях действия горных ударов определяется максимальными деформациями, которые не должны превышать 300–400 мм. Совместная деформируемость СЗА с массивом реализуется за счет относительного удлинения стержня вдоль оси анкера на величину до 20% и перераспределения несущей способности по длине с увеличением силы трения в приконтурной зоне шпура, сохраняющей исходную прочность массива. Анкерные стержни должны быть совместимы с другими опорными элементами единой конструкции крепи с учетом способности к поглощению энергии, при этом часть энергии деформирования массива распределяется через армокаркас, далее от него

напряжения передаются на опорную плиту и через опорный узел – на стержень анкера.

9. Выявлено, что в случае создания искусственного несущего свода путем «сшивки» массива пород анкерами расстояние между ними оказывает более значимое влияние на устойчивость массива пород, чем длина анкера. Оптимальная длина анкеров определяется размером зоны неупругих деформаций и составляет по результатам исследований до 2 м.

10. Сохранение природных свойств массива пород в первое время после обнажения обеспечивается изоляцией от контакта с рудничным воздухом путем торкретирования поверхности выработок, толщиной слоя не менее 50 мм. Снижение вероятности вывалов в сильнотрещиноватых породах обеспечивается поддержанием пород между анкерами за счет армокаркасов, формирующих предварительный подпор со стороны выработанного пространства. В слабоустойчивых породах создание поверхностной крепи, состоящей из армокаркаса и торкретбетона слоем не менее 150 мм, увеличивает зону неупругих деформаций и обеспечивает устойчивость массива как самостоятельной конструкции по типу армированной бетонной крепи.

11. Разработанные и реализованные на горных предприятиях России и Казахстана технологические рекомендации по обеспечению устойчивости горных выработок при разработке месторождений полезных ископаемых и оценка их экономической эффективности показали, что конструкции с использованием фрикционных анкеров типа «СЗА» совместно с армокаркасом и торкретбетоном при креплении контуров горно-подготовительных и капитальных выработок, пройденных по породам III и IV категории устойчивости, позволяют получить экономию по затратам на 1 п.м от 8 до 15 %, или в среднем 8715,88 руб. (в ценах 2022 г.), что при среднем годовом объеме горно-проходческих работ 1000 п.м, с учетом повышения интенсивности проходки и сокращения объемов ремонтных и восстановительных работ в период эксплуатации выработок, позволяет получить экономический эффект не менее 16 млн руб./год.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах.**

**Статьи, опубликованные в изданиях,
рекомендованных ВАК РФ**

1. Лапин, В.А. Перспективы вовлечения в доработку нарушенных руд медноколчеданных месторождений Урала / В.А. Лапин, С.С. Неугомонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №3. С. 261-263.

2. Неугомонов, С.С. О методике расчета параметров буровзрывных работ при отбойке сильнотрещиноватых руд / С.С. Неугомонов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №2. С. 28-30.

3. Калмыков, В.Н. Расчет параметров отбойки трещиноватых руд скважинными зарядами при системах разработки с твердеющей закладкой / В.Н. Калмыков, В.Х. Пергамент, С.С. Неугомонов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №1. С. 22-24.

4. Лапин, В.А. Способ разработки месторождений в сложных горно-геологических условиях / В.А. Лапин, С.С. Неугомонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 10. С. 382-387.

5. Разработка технологии механизированного крепления горных выработок методом «мокрого» набрызгбетонирования на подземных рудниках ОАО «Учалинский ГОК» / З.Р. Гибадуллин, В.Н. Калмыков, А.А. Зубков, С.С. Неугомонов, П.В. Волков, Е.И. Пушкарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S27. С. 64-71.

6. О влиянии глубины разработки на параметры отбойки руд на примере Гайского месторождения / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, М.В. Котик, А.А. Ахметов, П.Г. Попов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S1-1. С. 79-85.

7. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород глубоких горизонтов Кочкарского золоторудного месторождения / В.Н. Калмыков, Р.В. Кульсаитов, П.В. Волков, С.С. Неугомонов, Д.П. Самойленко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S1-1. С. 86-94.

8. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках / А.А. Зубков, В.В. Латкин, С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S1-1. С. 106-117.

9. Технологические особенности возведения усиленной комбинированной крепи на подземных рудниках / В.Н. Калмыков, В.В. Латкин, А.А. Зубков, С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 63-69.

10. Калмыков, В.Н. Сравнительная оценка энергетических параметров взрыва зарядов эмульсионного и гранулированного ВВ / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, М.В. Котик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S4-2. С. 160-166.

11. Неугомонов, С.С. Крепление слабоустойчивых пород усиленной комбинированной крепью на основе фрикционных анкеров типа СЗА / С.С. Неугомонов, П.В. Волков, А.А. Жирнов // Горный журнал. 2018. № 2. С. 31-34.

12. Оценка рисков крепления поверхностей выработок фрикционной анкерной крепью / А.А. Зубков, В.Н. Калмыков, Р.В. Кульсаитов, И.М. Кутлубаев, С.С. Неугомонов, И.С. Туркин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. № 3. С. 45-53.

13. Совершенствование технических решений при креплении горных выработок фрикционной анкерной крепью СЗА в сложных горно-геологических условиях / А.А. Зубков, С.С. Неугомонов, П.В. Волков, И.М. Кутлубаев // Горный журнал. 2022. № 1. С. 92-96.

14. Оценка устойчивости закрепленной выработки на основе численного моделирования методом конечно-дискретных элементов / Б.Т. Ильясов, Р.В. Кульсаитов, С.С. Неугомонов, Н.О. Солуянов // Горный журнал. 2023. № 1. С. 118-123.

15. Рыльникова, М.В. Выбор типа и обоснование конструкции анкерной крепи горных выработок при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей / М.В. Рыльникова, Е.М. Сахаров, С.С. Неугомонов // Известия тульского государственного университета. Науки о земле. 2023. № 3. С. 279-292.

16. Способ и устройство определения несущей способности фрикционных анкеров / С.С. Неугомонов, А.А. Зубков, И.М.

Кутлубаев, Р.В. Кульсаитов // Научно-технический и производственный журнал «Горная промышленность». 2023. №5. С. 83-87.

17. Обоснование схемы нагружения и методики расчета напряжений в стержне анкера с фрикционным закреплением / С.С. Неугомонов, А.А. Зубков, И.М. Кутлубаев, В.А. Самигулин // Горный журнал. 2024. № 1. С. 74-82.

Статьи, опубликованные в других изданиях

18. Лапин, В.А. Обоснование условий и выбор решений по эффективной технологии разработки изолированных рудных тел Октябрьского месторождения / В.А. Лапин, Е.А. Горбатова, С.С. Неугомонов // Основные направления развития инновационно-инвестиционной деятельности предприятий компании: 2-я Молодежная научно-практическая конференция. Верхняя Пышма: ООО «УГМК-Холдинг», Изд-во «Филантроп», 2006. С. 147-150.

19. Калмыков, В.Н. Обоснование параметров буровзрывных работ трещиноватых участков руд / В.Н. Калмыков, В.Х. Пергамент, С.С. Неугомонов // Материалы 65-й научно-технической конференции МГТУ. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. Т.1. С.165-167.

20. Неугомонов, С.С. Особенности расчета параметров БВР при отбойке сильнотрещиноватых руд / С.С. Неугомонов // Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи: материалы международной научно-технической конференции; г. Сибай, 2007 г. Магнитогорск: МГТУ, 2007. С. 101-103.

21. Калмыков, В.Н. Особенности способов отбойки трещиноватых руд при системах с закладкой / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, В.А. Лапин // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 5-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М.: УРАН ИПКОН РАН, 2008. С. 72-74.

22. Абдрахманов, Р.И. Технология отбойки сильнотрещиноватых руд при стадийной разработке месторождений / Р.И. Абдрахманов, В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов // Молодой ученый. 2010. № 3. С. 16-18.

23. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках Урала и Якутии / В.Н. Калмыков, А.А. Зубков,

С.С. Неугомонов, П.В. Волков, В.В. Латкин // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 14. № 3. С. 51-53.

24. Применение композитных материалов для крепления горных выработок механизированным способом / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков, Е.И. Пушкарев, П.В. Волков // I международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений»: сборник докладов / отв. ред. Н.Г. Валиев. Екатеринбург, 2012. С. 72-74.

25. Промышленные испытания новых видов крепи при строительстве горных выработок на рудниках Уральского региона / В.Н. Калмыков, В.В. Латкин, С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Уральский промышленник. 2015. № 1. С. 4-8.

26. Солодовников, А.В. Требования промышленной безопасности к составу документации на предприятиях, ведущих взрывные работы / А.В. Солодовников, С.С. Неугомонов, Р.И. Ханнанов // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. №3(110), апрель 2016. С. 12-15.

27. Исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород глубоких горизонтов Кочкарского золоторудного месторождения / В.Н. Калмыков, Р.В. Кульсаитов, Д.П. Самойленко, П.В. Волков, С.С. Неугомонов // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: тезисы докладов международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. Москва, 2014. С. 104-107.

28. Волков, П.В. Промышленные испытания инновационных покрытий для защиты анкерной крепи / П.В. Волков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: материалы докладов международной конференции. Магнитогорск, 2019. С. 143-144.

29. Волков, П.В. Практический опыт поддержания горных выработок в устойчивом состоянии в условиях шахты «Орловская» / П.В. Волков, С.С. Неугомонов, А.А. Жирнов // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: материалы докладов международной конференции. Магнитогорск, 2019. С. 139-140.

30. Зубков, А.А. О результатах испытаний технологии крепления неустойчивых пород подземных горных выработок комбинированными крепями / А.А. Зубков, С.С. Неугомонов, П.В.

Волков // Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья: материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию со дня основания института «Уралмеханобр». 2019. С. 83–85.

31. Неугомонов, С.С., Разрушение горных пород [Электронный ресурс] / С.С. Неугомонов, П.В. Волков. Магнитогорск, 2017.

32. Волков, П.В. Технология подземной разработки россыпных месторождений [Электронный ресурс] / П.В. Волков, С.С. Неугомонов. Магнитогорск, 2017.

33. Зубков, А.А. Совершенствование технологии крепления горных выработок фрикционной анкерной крепью в сложных горно-геологических условиях / А.А. Зубков, С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Горнодобывающая промышленность в 21 веке: вызовы и реальность: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института «Якутнипроалмаз» АК «Алроса». Мирный, 2021. С. 102-103.

34. Kalmykov, V.N. Features of fastening very unstable rocks with combined support on the basis of SZA and shotcrete / Kalmykov V.N., Neugomonov S.S., Volkov P.V. // IOP conference series: earth and environmental science. 2019. С. 022108.

35. Сахаров, Е.М. Обоснование типа и конструкции анкерных крепей горных выработок при отработке месторождений калийных солей на больших глубинах / Е.М. Сахаров, Р.В. Бергер, С.С. Неугомонов // Материалы научно-практической конференции с международным участием, г. Магнитогорск, 2023: тезисы докладов. Магнитогорск: МГТУ, 2023. С. 111-113.

Патенты:

36. Патент на изобретение 2802930 с1 РФ. Шахтная сетка / Зубков А.А., Зубков А.А., Кузяев Е.А., Кутлубаев И.М., Неугомонов С.С., Туркин И.С., Шутов С.А. 05.09.2023. Заявка № 2023102569 от 03.02.2023.

37. Патент на полезную модель 220177 u1 РФ. Анкер с фрикционным закреплением / Зубков А.А., Зубков А.А., Неугомонов С.С., Ибрагимова Г.Р., Сахаров Е.М. 30.08.2023. Заявка № 2023104574 от 27.02.2023.