

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова»**

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

Диссертация

на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:

профессор, доктор технических наук
Марина Владимировна Рыльникова

Магнитогорск 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	14
1.1 Анализ основных тенденций подземной разработки месторождений руды и солей, условий обеспечения устойчивости подземных выработок и требований к видам и параметрам крепи	14
1.2. Закономерности формирования полей напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок.....	19
1.3. Систематизация видов крепи подготовительных выработок в соответствии с особенностями конструкции в сложных условиях применения	22
1.4. Методики выбора типа и расчета параметров крепи горных выработок.....	35
1.5. Цель, задачи и методы исследований.....	46
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ВЫБОРА ТИПА И ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ.....	49
2.1. Методы проектирования типа, конструкций и параметров крепи	49
2.2. Обоснование выбора типа и конструкции крепи на основе оценки параметров, характеризующих приконтурную зону	55
2.3. Принципы совершенствования конструкций крепи с учетом специфических требований	59
2.4. Факторы обеспечения устойчивости подземных горных выработок.....	71
2.5. Учет совместного действия статических и динамических сил при обосновании параметров крепи	87
Выводы по главе 2.....	94
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕПИ И МАССИВА. 98	
3.1. Исследование свойств пород приконтурного массива горных выработок... 98	

3.2. Исследование изменений напряженного состояния приконтурного массива горной выработки.....	108
3.3. Исследование физических характеристик элементов крепи.....	128
3.4 Оценка воздействия динамических нагрузок на крепь.....	140
Выводы по главе 3.....	149
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНВЕ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ФРИКЦИОННОГО ТИПА.....	153
4.1. Оценка влияния элементов конструкции крепи на общую работоспособность.....	153
4.2. Совершенствование конструкции фрикционной анкерной крепи. Аналитический метод определения несущей способности.....	168
4.3. Оценка напряженно-деформированного состояния массива в контурах подготовительных выработок, закрепленных с использованием анкеров фрикционного типа.....	183
4.4. Крепление сложноструктурных пород.....	206
4.5. Методика расчета параметров закрепления выработок.....	218
Выводы по главе 4.....	233
ГЛАВА 5. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.....	236
5.1. Промышленные испытания на «Артемьевской шахте» ТОО «Востокцветмет» (РК).....	236
5.2. Опытные-промышленные испытания на «шахта Орловская» ТОО «Востокцветмет».....	247
5.3. Испытания в условиях Шахты десятилетия независимости Казахстана	258
5.5. Испытания на Гремячинском месторождении.....	266
Выводы по главе 5.....	274
ГЛАВА 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ УСИЛЕННОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПЬЮ НА ОСНОВЕ СЗА.....	277
Выводы по главе 6.....	303

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	305
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	309
Приложение А	328
Приложение Б	329
Приложение В	331
Приложение Г	333

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Конструкции, возводимые в подземных горных выработках для обеспечения устойчивости, технологической сохранности, а также управления горным давлением, 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 достаточно прочной крепи к равновесию. Известны следующие режимы этого взаимодействия: заданной нагрузки, заданной деформации, взаимовлияющей деформации.

В современных условиях при разработке полезных ископаемых подземным способом проведение и крепление горных выработок осуществляется в сложных горно-геологических условиях. Характерными для них являются проявления динамических воздействий горного давления и повышенные статические напряжения, связанные, в том числе, с изменением свойств массива во времени. Реализуемая технология крепления должна учитывать данные факторы. Существующие крепи предусматривают только «жесткий», «податливый» или «ограничено податливый» режим деформирования. Таким образом, при совместном действии указанных нагрузок не обеспечивается требуемая надежность конструкции, которая подразумевает выполнение заданных функции крепи с сохранением ее основных характеристик при эксплуатации, безопасности, долговечности, ремонтпригодности.

Обеспечение устойчивости рассматривается как совокупность технологических процессов управления состоянием массива, в основе которых – оценка состояния массива, а также факторов, влияющих на его устойчивость, в том числе материал и конструкция крепи, способ и порядок их использования в пространстве и времени в условиях изменяющихся нагрузок для различных геологических условий.

Известные методы выбора и обоснования параметров крепи основаны на статически определяемых показателях. Условия совместного влияния различных 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 ее надежность.

С 2016 г. при подземной разработке месторождений прогрессивно внедряется новый вид комбинированной крепи, состоящей из анкеров с фрикционным закреплением, различного рода подхватов – армокаркасы и затяжки в виде сварной сетки, а также набрызгбетон. При этом отсутствуют принципы выбора и обоснования параметров, обеспечивающих условия надежного применения указанной конструкции. Нет результатов исследований особенностей взаимодействия фрикционных анкеров с закрепляемым массивом. Недостаточно изучены силовые параметры элементов конструкции при их комбинированном использовании. Отсутствуют рекомендации о способах эффективного использования. Таким образом отсутствует методика выбора и обоснования параметров фрикционной анкерной крепи в составе комбинированных конструкций для различных горногеологических и горнотехнических условий, что, собственно, определяет актуальность настоящих исследований.

Цель исследований – развитие научно-методических основ технологии обеспечения устойчивости горных выработок с учетом воздействия статических и динамических нагрузок и применения 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.

Для достижения установленной цели исследования сформированы и впоследствии будут реализованы следующие **задачи**:

- 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 ее 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.

Методология и методы исследования: достоверность выводов и рекомендаций, полученных в результате диссертационной работы, подтверждает применение комплекса методов исследования: 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.

Основу теоретической и методической базы составили авторитетные мнения и экспертные заключения, отраженные в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях, отраслевых журналах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Информационно-эмпирическая база исследования сформирована по месторождениям Орловское, Артемовское, «Алмаз-жемчужина».

Положения, выносимые на защиту: защите подлежат следующие результаты, полученные в рамках данного научного исследования:

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 ее 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 0,5-1 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 «замыкающего блока», что сокращает вероятность дальнейшего развития процесса обрушения; динамическая нагрузка горных ударов компенсируется деформациями и податливостью анкерной крепи, в том числе созданием слоев армированного набрызгбетона.

4. Увеличение несущей способности анкера с фрикционным видом закрепления 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 анкера с фрикционным видом закрепления 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 диаметру 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 ее надежность и устойчивость горной выработки в заданные сроки эксплуатации, а также ремонтпригодность, снижение трудоемкости и материалоемкости процессов крепления и перекрепления горных выработок.

Научная новизна диссертационного исследования:

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 особенностей 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 под влиянием сорбционных свойств горных пород в период проведения выработки, заключающиеся в потере прочностных характеристик и устойчивости пород в определенный период времени после контакта вскрытого участка массива с рудничной атмосферой.

6. Методика выбора параметров крепи с учетом закономерностей взаимодействия элементов крепи и массива горных пород, предусматривающая сохранение 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 упруго-деформированное 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 решений, в подготовке публикаций на тему 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 состоит в использовании выводов, рекомендаций и методических положений диссертации для обеспечения устойчивости горных выработок в условиях действия высоких статических и динамических нагрузок, безопасности и эффективности горных работ; 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» (приложение А), АО «ТНК «Казхром», «УГМК-Холдинг» и др. Совокупный годовой экономический эффект от применения предложенной технологии сократит до 15 % затрат при проведении и креплении выработок. Требования к материалам и конструкции анкерной крепи сформулированы в изменении № 1 и изменении № 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» (приложение Б).

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 39 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 333 стр. машинописного текста, 186 рисунков, 109 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1 Анализ основных тенденций подземной разработки месторождений руды и солей, условий обеспечения устойчивости подземных выработок и требований к видам и параметрам крепи

Развитие подземной разработки рудных месторождений неизбежно связано с увеличением глубины отработки полезных ископаемых и с освоением залежей бедных руд на действующих горных предприятиях. Известное значение величины действующих напряжений в контурах выработок может в 3-5 раз превышать прочность пород и несущую способность крепи [6].

Глубина горных работ увеличивает горное давление, приводящее к негативным последствиям [46,123,124,128,139]. Причем на одной и той же глубине в одних случаях деформации проявляются в виде вывалов и разрушений кровли, в других – в разрушении и осыпании стенок выработки, пучении почвы.

При отработке крупных железорудных месторождениях Сибири глубокие рудники характеризуются резким ухудшением горно-геологических условий: изменяются физико-механические свойства горных пород, уменьшается их пористость, повышается прочность. Рост горного давления в массиве пород на этом фоне ведет к возникновению проявлений горных ударов [75,76,86]. Блочное строение горного массива способствует концентрации напряжений на отдельных участках и возникновению динамических явлений различной интенсивности. По глубине ведения подземные горные работы могут быть классифицированы как глубокие (600-1400 м), весьма глубокие (1400-2000 м) и сверхглубокие (более 2000 м) [1,2]. На глубинах 600 м и более происходят горные удары большой разрушительной силы (107-109 Дж). Появление на Таштагольском месторождении горных ударов большой мощности и горно-тектонических ударов в глубине массива вызывает необходимость исследования условий их формирования и проявления [8,76,82]. Рациональным способом и средством повышения устойчивости подготовительных выработок по мощным пологим и наклонным

пластам является крепление массива горных пород металлической анкерной крепью и анкерной совместно с металлической рамной крепью [130]. Анкерная и набрызгбетонная крепи являются предпочтительными в условиях глубоких месторождений [8]. В этом случае возникает необходимость детального исследования влияния параметров полей напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок на особенности проведения и крепления подготовительных выработок увеличенной площади сечения в условиях напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. Арочная податливая крепь (АПК), вследствие повышенного бокового давления, во многих случаях не работает в податливом режиме из-за заклинивания элементов крепи в замках [6].

С углублением горных работ на жильных месторождениях Дальневосточного региона (Южное, Забытое и ряд других) наблюдается усложнение горно-геологических условий их разработки, заключающееся в изменении параметров и элементов залегания рудных тел (мощности, угла падения, морфологии жил и др.) и механических характеристик литологического комплекса. Эти факторы также могут оказывать непосредственное влияние на геомеханическое состояние пород, учет которого необходим для обоснования мер безопасности при отработке удароопасных участков месторождений.

Существенно изменяются в настоящее время горнотехнические условия отработки месторождений калийных солей. Кроме этого, геодинамическая и сейсмическая активности могут быть весьма значительными при отработке 40 % начальных запасов и, в первую очередь, характеризуются изменением начального естественно напряженно-деформированного состояния породного массива [116].

Отработка малопрочных руд связана с динамическими проявлениями горного давления [32]. Большой объем исследований и работ в области проблем динамических проявлений и охраны подготовительных выработок на глубинах разработки свыше 750 м не решены [67,69,91,92]. При переходе на большие глубины резко проявляются свойства ползучести, увеличивается содержание

слабых пород [32]. На малых глубинах устойчивость горных выработок достигается за счет рациональной формы и размеров выработок [9,69].

Требованием правил безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых является обеспечения устойчивости горных выработок в течение всего срока их эксплуатации [92,100]. Вопросы устойчивости горных выработок и вмещающих пород исследованы в работах ученых: И.И. Айнбиндера, С.С. Андрейко, В.Е. Боликова, В.А. Губанова, А.А. Еременко, О.В. Зотеева, М.А. Иофиса, С.А. Константиновой, М.В. Курлени, А.Б. Макарова, М.М. Мельника, В.А. Мисникова, А.Г. Протосени, А.П. Тапсиева, Г.Л. Фисенко, Н.М. Хвещука и многих других ученых и инженеров [9,32,37,46,69,91,118,129,130].

На условия обеспечения устойчивости подземных выработок оказывают воздействие горно-геологические и горнотехнические факторы [59], наличие тектонических напряжений и разгруженных зон, гидрогеология и пр. [31]. В таких зонах меняется структура пород кровли горных выработок [80]. Тектонические нарушения являются неоднородностями, прочность которых намного ниже, чем у массивов, находящихся между ними. При разработке месторождений во вмещающих породах около выработанных пространств накапливается энергия, возрастает вероятность динамических подвижек, в первую очередь, по наиболее ослабленным участкам – тектоническим нарушениям [139]. Из общего объема геологических нарушений наиболее значительными являются разрывные нарушения [68]. Обоснование параметров обеспечения устойчивости подготовительных выработок и разработка методики расчета крепления и способов охраны выработок, позволяющих обеспечить их безремонтное поддержание в течение всего срока эксплуатации, по-прежнему актуальны.

Устойчивость закрепленных горных выработок тесно связана с деформациями системы «массив–крепь». Напряжения, возникающие на контакте крепи и массива в результате их силового взаимодействия, то есть нагрузка на крепь, могут быть деформирующими и разрушающими. Рациональные формы сечения выработки представлены на рисунке 1.1.

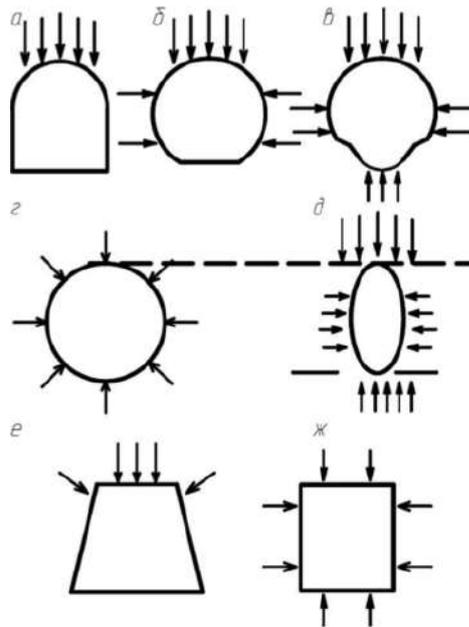


Рисунок. 1.1. Формы устойчивых контуров выработок в зависимости от горного давления

С увеличением сечения горных выработок увеличивается интенсивность проявлений горного давления, а удельная несущая способность применяемых поддерживающих типов крепи, таких как рамная металлическая из СВП, существенно падает. Так, при изменении ширины выработки от 4 до 8 м величина проявлений горного давления увеличивается в 2,3 раза, а удельное сопротивление крепи уменьшается 1,64 раза. При увеличении сопротивления крепи за счет изменения ее плотности необходимый эффект не достигается.

Научные основы проектирования крепления выработок заложены в трудах ученых: К.А. Ардашева, В.Е. Боликова, А.А. Борисова, Б.А. Картозии, А.Г. Протосени, Ю.З. Заславского, В.П. Зубова, О.И. Мельникова, В.Л. Трушко, Г.П. Фисенко и многих других исследователей. В последнее десятилетие в России и за рубежом для крепления выработок большого сечения широкое распространение получила комбинированная крепь, состоящая из сочетаний анкерной сталеполимерной и рамной поддерживающей крепи [17,18,38,47,48,50,63,112]. Практика и проведенный обзор показали, что при установке комбинированной рамно-анкерной крепи, ее сопротивление не равно сумме сопротивлений каждой из этих крепей. Оно во многом зависит от прочности пород, конструктивной податливости каждой крепи, времени и очередности ее установки.

В мировой практике широко применяются различные виды анкерных крепей, которые обеспечивают в различной степени упрочнение пород свода над горной выработкой, тем самым исключая его обрушение. Применение анкеров, подхватов в виде штрипсов и упорных шайб в качестве основных элементов крепи позволило в целом значительно сократить затраты [39]. Конструкции и параметры анкерной крепи на практике определяются созданием необходимой толщины пород по контуру горной выработки, которую следует поддерживать в период ее эксплуатации. В то же время практика применения сталеполлимерной анкерной крепи показывает, что даже наиболее надежные и современные средства крепления не во всех случаях предотвращают опасные деформации закрепленных пород и потерю устойчивости их на отдельных участках выработок. Исследованиями установлено, что в зонах повышенных напряжений и структурных аномалий накапливается упругая энергия, которая, достигая критических значений, вызывает неожиданные динамические разрушения приконтурного массива выработок. Это, в свою очередь, ведет к непрогнозируемым аварийным ситуациям в работе анкерной крепи.

Значительное влияние на работу анкерной крепи оказывают горно-геологические и горнотехнические условия проведения и эксплуатации горной выработки. Прежде всего это физико-механические свойства пород кровли, крепость и прочность пород, мощность слоя, структурные особенности строения массива. Кроме того, влияние на работу анкерной крепи оказывают ее технические характеристики [127].

Таким образом, ухудшение горно-геологических и горнотехнических условий в связи с переходом на глубину разработки более 400-450 м влечет за собой существенное увеличение размеров зон опорного давления в окрестности очистных работ и интенсивность проявлений горного давления в выработках внутри выемочных полей [39]. Поддержание и увеличение объема подземной добычи полезных ископаемых возможно лишь при наличии высокоэффективной технологии проведения и поддержания подготовительных выработок, обеспечивающей наращивание объемов горно-подготовительных работ [34].

Малая изученность процессов в породах вокруг выработок на глубоких горизонтах, влияние различных полей напряжения и работоспособности анкерной крепи в этих условиях, особенно это относится к размерам зон опасных деформаций (смещений, расслоений и разрушений) пород кровли и боков выработок, требует детального исследования закономерностей распределения напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок для решения задачи обеспечения устойчивости подготовительных горных выработок.

1.2. Закономерности формирования полей напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок

Нарушение естественного НДС породных массивов вследствие ведения горных работ сопровождаются возникновением вокруг выработки деформаций растяжения и сжатия, которые определяют появление соответствующих по знаку и величине напряжений [7].

Значительный вклад в исследование представлений о напряженном состоянии массива горных пород внесли ученые: С.Т. Авершин, А.А. Борисов, Н.С. Булычев, А.Н. Динник, О.В. Зотеев, Б.А. Картозия, М.В. Курленя, Г.И. Кулаков, Н.М. Проскураков, М.М. Протоdjяконов, А.Г. Протосеня, В. Риттер, П.М. Цимбаревич, Е.И. Шемякин и др. В их работах определены основные факторы, способствующие зарождению и развитию очагов динамических явлений, изучено влияние горного давления на устойчивость выработок, исследован характер деформирования контура подготовительных выработок в зонах временного и остаточного опорного давления в зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий.

Д.т.н. Ю.П. Шуплецовым [139] установлено, что в неустойчивых скальных массивах около выработанных пространств образуется зона неупругих деформаций в соответствии с теоретическими представлениями о хрупко разрушающейся среде с остаточной прочностью, что позволяет принимать технические решения по управлению устойчивостью массивов и выработок.

В исследовании [46] д.т.н. О.В. Зотеевым разработана методология комплексного учета блочности массива. Анизотропия механических свойств обнаруживается практически во всех породных массивах, особенно в слоистых массивах осадочного происхождения [26].

Известны различные концепции устойчивости горных пород, но при всей вариативности используемых гипотез их можно свести к основному соотношению [131].

Устойчивость выработки определяется соотношением:

$$K\gamma H \leq k_{\text{стр}}\sigma_{\text{сж}}, \quad (1.1)$$

где γ и $\sigma_{\text{сж}}$ – объемный вес и прочность при сжатии горных пород; K – коэффициент концентрации напряжений на контуре выработки; H – глубина заложения выработки; $k_{\text{стр}}$ – коэффициент структурного ослабления массива.

Левая часть критерия (1.1) характеризует действующие напряжения и нагрузку на крепь подземной выработки. Такое линейное увеличение давления с глубиной редко наблюдается в действительности. В расчетах нагрузки на крепь применяют одну из двух гипотез [85]: расчет по схеме заданных напряжений и расчет по схеме заданных деформаций.

Гипотеза М.М. Протодьяконова [107] постулирует образование в кровле выработки свода естественного равновесия. Нагрузка в этом случае зависит от веса пород в объеме этого свода, форма которого описывается уравнением параболы:

$$y = \frac{Px^2}{2T}, \quad (1.2)$$

где $P = \gamma H$ – гидростатическое давление; T – горизонтальный распор.

Давление на крепь выработки (Q , Н/м) определяется с учетом высоты свода естественного равновесия $b = a/f$, где a – полупролет выработки, выражением:

$$Q = \frac{4}{3}\gamma \frac{a^2}{f}. \quad (1.3)$$

П.М. Цимбаревич [132] развил данные идеи. В последующем предложены другие методы расчета, основанные на гипотезе сводообразования. К наиболее

известным методам можно отнести гипотезу В.Д. Слесарева [114] и гипотезу Н.М. Покровского [104].

Исследования в области анкерного крепления показывают, что некоторые анкеры воспринимают нагрузку, близкую к их предельной несущей способности, в то время как другие остаются недогруженными. В таких случаях разрушаются породы между перегруженными анкерами, возникает их «обыгрывание». Массив разрушается с образованием заколов или вывалов (рисунок 1.2).

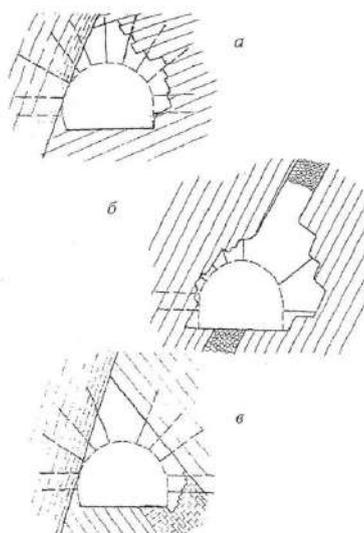


Рисунок 1.2. Типичные нарушения устойчивости в контурах выработок: а – при наличии тектонического нарушения и трещин в слоях; б – при наличии тектонического нарушения и плоскостей напластования, в – по разлому [6]

Такие явления могут происходить в кровле и (или) бортах выработок. В качестве критерия интенсивности проявлений горного давления в выработках следует принимать смещения их породного контура за весь срок службы.

В работе [45] установлено, что для повышения устойчивости массивов горных пород в окрестности выработок необходимо заранее прогнозировать параметры НДС и опасных зон в массиве для последующего обоснования параметров технологий крепления и упрочнения. Автором предложена методика количественного прогнозирования параметров опасных зон для направленного упрочнения и обеспечения устойчивости горных пород в окрестности подземных горных выработок.

Д.Б. Зыковым [53] исследованы пути обеспечения устойчивости горизонтальных горных выработок, пройденных в рыхлых рудах. По мнению автора, прогноз устойчивости подготовительных выработок должен базироваться на учете напряженного состояния нетронутого рудно-кристаллического массива сложного строения и несущей способности рыхлых руд при применении поддерживающих видов крепи. В работе доказано, что деформирование слабых рыхлых руд вокруг выработок с поддерживающей крепью происходит в течение трех периодов времени с различным характером смещений рудного массива, и, в основном, реализуются в первые 50-250 суток.

Таким образом, разработка и обоснование способов крепления выработок в условиях высоких статических и динамических нагрузок в сложных условиях применения весьма актуальна.

1.3. Систематизация видов крепи подготовительных выработок в соответствии с особенностями конструкции в сложных условиях применения

Важную роль в повышении эффективности горного производства играет решение проблемы совершенствования технологии крепления и надежного поддержания выработок. Устойчивое поддержание подготовительных выработок также требует значительных затрат, достигающих 15-20 % от стоимости проведения горных выработок, на их ремонт как до, так и после ввода в эксплуатацию очистных забоев.

При рассмотрении причин аварий в очистных забоях, сопровождаемых разрушением механизированных крепей, работающих в условиях труднообрушаемых кровель (Германия, Чехия, Польша, Россия, Украина, Казахстан) определено, что чаще всего выявлялись неправильно выбранные силовые параметры крепи (прежде всего, ее несущей способности) и необходимость увеличения рабочего сопротивления секций крепи или применения предварительного разупрочнения пород основной кровли методом гидроразрыва, торпедированием и т. п. В результате исследований по изучению динамических

явлений, возникающих при взаимодействии крепей с породами кровли как в период выполнения технологических операций по выемке полезных ископаемых, так и при первичных и периодических осадках пород основной кровли установлено, что не только физико-механические свойства пород кровли, но и динамические характеристики системы «кровля-крепь» в период резких осадок являются значимыми при оценке безопасности эксплуатации шахтных гидрофицированных крепей, особенно с учетом кратковременного характера нагрузки [135].

Рост напряжений с глубиной и связанная с этим удароопасность представляют серьезные проблемы при ведении подземных горных работ в скальных (твердых) породах. К крепи выработок, пройденных в сильно деформируемых и удароопасных породах, предъявляются особые требования, в частности, высокое энергопоглощение, т. е. крепь должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать высокие нагрузки, но в то же время достаточно гибкой, чтобы допускать небольшое смещение стенок выработки [40]. Данное требование относится к породам, склонным к горным ударам, а также к породам, склонным к деформированию (выжиманию). Крепи должны жестко реагировать на исходное упругое состояние массива горных пород и далее деформироваться вместе с породами на стадии пластического нагружения [106,127]. На рудниках в России и за рубежом часто наблюдается несоответствие упомянутых характеристик, когда жесткие железобетонные анкера комбинируют с относительно мягкой сеткой или, наоборот, податливые фрикционные анкера сочетают с жестким набрызгбетоном. Такие системы имеют либо избыточный запас прочности и, соответственно, повышают стоимость добычи минерального сырья, или, наоборот, недостаточный запас прочности, что снижает безопасность горных работ.

Одним из рациональных путей улучшения состояния выработок и экономии материальных ресурсов является применение комбинированных крепей. К настоящему времени в мировой практике накоплен достаточный опыт применения технологических схем возведения крепей в выработках железнорудных месторождений. Однако, как показывают натурные наблюдения, состояние горных

выработок не всегда удовлетворительное. Наиболее слабым звеном в решении вопросов по повышению эффективности использования анкерного крепления является недостаточная изученность геомеханических процессов вблизи горных выработок. Для разработки рациональных, безопасных и эффективных способов поддержания горных выработок следует учитывать множество параметров: горно-геологические и морфологические особенности месторождения, на котором проектируется крепь; среднее расчетное расстояние между трещинами в массиве горных пород или руд; коэффициент крепости пород, руд по шкале проф. Протодяконова; местоположение горной выработки относительно очистных работ (в зоне, вне зоны очистных работ); глубина заложения выработки, м; объемный вес породы, руды, т/м³; высота выработки в свету, м; ширина выработки в свету, м; ширина выработки в свету по верхняку, м; поперечное сечение горной выработки в свету, м²; степень удароопасности горного массива на трассе проходки выработки (неудароопасный, склонный к горным ударам, опасный по горным ударам).

В работе [127] рассмотрена технология взрывного закрепления выработок в удароопасных условиях, обеспечивающая повышение эффективности и безопасности проходческих работ. Автором доказана взаимосвязь между параметрами технологии взрывного закрепления выработок и геомеханическими процессами в условиях геодинамических проявлений, определено, что действующие в массиве напряжения меняют свою величину и направление в зависимости от формы и размеров зоны пространственно-временного влияния очистных работ, а также прочности горных пород с изменением глубины.

В работах [12,105,137] для крепления горных выработок в удароопасных условиях, для упрочнения пород вокруг выработки рекомендована анкерная крепь различной конструкции: клинощелевая, распорная и безраспорная, а в более сложных условиях – замкнутые конструкции крепей металлической податливой из двутавра или спецпрофиля СВП или железобетонные тубинговые крепи. При разработке руд на больших глубинах в условиях действия больших тектонических сил рекомендовано ориентировать подготовительные выработки в направлении

действия наибольшего горизонтального напряжения, при проведении горизонтальных параллельных выработок выдерживать расстояние между ними не менее 30-40 м (или 4Д), проектировать пересечение выработок в основном под прямым углом. Наиболее благоприятное по устойчивости для глубоких горизонтов поперечное сечение выработок овальной формы.

Для поддержания выработок на больших глубинах возможно применение всех видов крепи – от штанг и набрызгбетона до монолитного бетона и железобетона в зависимости от устойчивости и физико-механических свойств пород, формы проявления горного давления и технико-экономических показателей [110,125]. Идеальная крепь для глубоких горизонтов должна иметь максимальную несущую способность при минимальной деформации, большую податливость при максимальных нагрузках, способность оградить выработку от выброса породы при горном ударе.

Автор [105] считает, что одним из основных и надежных средств повышения устойчивости выработок и их сопряжений в удароопасных условиях является применение анкерной крепи, устанавливаемой сразу в процессе проходки, в результате чего, по мнению автора, создается дополнительный запас прочности массива вокруг выработки. В работе доказано, что при применении анкерной крепи для поддержания подготовительных, нарезных выработок и их сопряжений, изменяя параметры плотности установки и начального натяжения анкеров, можно добиваться различной степени увеличения прочности массива вокруг выработок, а учитывая влияние геометрии выработок, можно определять оптимальные места установки анкеров [131]. Выбор вида крепи и ее параметров необходимо начинать с определения напряженного состояния выработки после проходки с учетом действующих первоначальных напряжений в массиве пород.

Существующие в настоящее время горные крепи подразделяют [20,29,65,71,73,79,81] по назначению и виду выработок: на крепи капитальных, подготовительных и очистных выработок; крепи горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок; крепи сопряжений и пересечений выработок.

По своим конструктивным и технологическим признакам крепи делятся на 3 класса: рамные, сплошные и анкерные. Крепи первых двух классов, в зависимости от их контура, делятся на два подкласса: с замкнутым и незамкнутым контуром. Кроме того, сплошные крепи делятся на два подкласса: монолитные и сборные. Анкерные крепи также делятся на два подкласса: с закреплением анкеров в донной части скважины (с распорными замковыми устройствами) и с закреплением анкеров по всей длине скважины или значительной ее части. Кроме того, каждый из этих подклассов, а также и классы анкерной крепи, в зависимости от применяемого для их изготовления материала, разделяются на подгруппы: мелаллические, деревянные, каменные, бетонные, железобетонные, полимерные, смешанные – изготовленные из двух и более разнородных материалов, без значительного преобладания одного из них (например, рама из деревянных или железобетонных стоек с металлическим верхняком). Подгруппу крепи определяет материал основной (несущей) конструкции (элемента) крепи. В дальнейшем при освоении и использовании новых крепежных материалов число видов и подгрупп крепи по этому признаку будет увеличиваться. Среди основных типов крепей выделяют: анкерную, набрызг-бетонную, бетонную, тубинговую, металлическую рамную и комбинированную, то есть сочетание анкерной крепи с другими [3,20,79].

По характеру работы и условиям взаимодействия с окружающим массивом крепи подразделяются на ограждающие, изолирующие, упрочняющие, поддерживающие (несущие) и подпорные (таблица 1.1) [3,79,83,119]. Ограждающие крепи предназначены для защиты людей и оборудования от случайных местных вывалов кусков породы. Они часто используются в качестве временных передвижных. Изолирующие крепи предназначены для защиты обнажений пород в выработках от выветривания, переувлажнения, вымывания, растрескивания, иногда теплоизоляции, а также сглаживания неровностей. Они выполняются обычно в виде покрытий из торкрет- и набрызгбетона, полимерных материалов и т. п. Их несущая способность незначительна, но, благодаря сохранению природных свойств пород в массиве вокруг выработки, изолирующие

крепей при современном нанесении могут обеспечить устойчивость горной выработки.

Таблица 1.1. Классификация крепей по характеру взаимодействия с породами [79]

Тип крепи	Характер взаимодействия с породами	Вид крепи
Изолирующая	Отсутствие закономерных, постоянно действующих нагрузок. Возможны местные (локальные) напряжения, вызванные случайными причинами	Тонкое изолирующее покрытие из набрызгбетона или полимерных смол (эпоксидных, полиэфирных и др.)
Ограждающая	1) Отсутствие закономерных постоянно действующих нагрузок. Нагружение крепи происходит в результате случайных отслоений. 2) Условия «заданных смещений» пород, которые крепь воспринимает без существенного отпора	Набрызгбетон, легкие металлические конструкции, крепь-оболочка, податливая крепь с отпором до 0,1 МПа
Упрочняющая	Упрочнение окружающих выработку пород, обеспечение совместных смещений нарушенных пород	Набрызг-бетон, различные виды анкерной крепи, комбинированная анкерно-набрызг-бетонная
Поддерживающая	Работа в режиме «заданной нагрузки» (отслоение пород, вывалообразование)	Деревянная, металлическая, монолитная и сборная бетонная и железобетонная крепь (жесткая, возводимая сразу после обнажения пород)
Подпорная	Работа в режиме совместного деформирования с массивом («взаимовлияющей деформации»)	Все виды податливой рамной крепи. Бетонные (монолитные и сборные), тубинговые крепи с отпором, достаточным для прекращения смещения пород и становления равновесия в системе «крепь массив»

Несущие крепи имеют основное назначение воспринимать нагрузки от горного давления. Несущие крепи условно разделяются на поддерживающие, подпорные, упрочняющие и комбинированные. Крепи по несущей способности условно делятся на 4 класса: 1 – маломощные (до 10 тс/м²), 2 – средние (11-30 тс/м²), 3 – мощные (31-100 тс/м²), 4 – весьма мощные (более 100 тс/м²). Подпорные крепи весьма материалоемки и дорогостоящие. Стоимость крепи

составляет 30-60% стоимости выработки, а затраты времени на крепежные работы занимают до 55% трудозатрат.

В настоящее время наибольшее распространение получили анкерные крепи, которые имеют преимущества перед другими видами крепей: низкая трудоемкость и себестоимость возведения, уменьшение аэродинамического сопротивления (по сравнению с рамной крепью). Несмотря на широкое распространение анкерного крепления, его самостоятельное применение допускается только в выработках с породами первой категории устойчивости, где горное давление обуславливает расчетное смещение кровли до 50 мм. В выработках с породами второй, третьей и четвертой категории устойчивости (при расчетных смещениях кровли более 50 мм) следует применять комбинированную крепь, состоящую из анкеров с металлическими подхватами, решетчатой затяжки и подпорной или набрызг-бетонной крепи [102]. Имеются ограничения по применению анкерных крепей при проведении капитальных горных выработок с длительным сроком службы, а также на пластах, опасных по самовозгоранию и динамическим явлениям.

По деформационно-силовой характеристике крепи бывают жесткие (смещения до 50 мм), малоподатливые (до 100 мм), податливые (до 300 мм) и весьма податливые (более 300 мм).

Металлические рамные арочные крепи являются универсальным средством крепления горных выработок чаще всего в горногеологических условиях, когда расчетные смещения вмещающих пород превосходят допустимые для различных видов анкерной крепи (300 мм и более), а также при проведении горных выработок с длительным сроком службы. Для повышения устойчивости, надежности и снижения стоимости поддержания горных выработок, а также с целью повышения безопасности работ рамная крепь может быть усилена анкерной крепью.

В работе [93] указано, что контакт крепи с массивом обеспечивается, как правило, при помощи клиньев, забиваемых в определенных местах между арками и стенками выработки. Связь остальной части крепи с породами отсутствует. При таком способе распора рам арочной крепи проявляется ряд негативных последствий, среди которых следует выделить: ослабление вмещающих пород и

неконтролируемый рост неупругих деформаций по периметру выработки; образование неравномерных и асимметрических нагрузок по контуру крепи, что приводит к появлению больших изгибающих моментов в элементах конструкций, обуславливающих недопустимые деформации крепи с полной утратой несущей способности.

В настоящее время успешно используется технология Буллфлекс возведения арочной крепи с предварительным распором путем установки между рамами крепи и вмещающими породами уплотняющих элементов, которые представляют собой специальный тканевый рукав диаметром 230-330 мм, заполняемый гидравлическими вяжущими материалами (рисунок 1.3) [25,87].



Рисунок 1.3. Конструкция металлической рамной крепи с применением распорного рукава

В работах [11,58] отмечалось, что при использовании рукавов Буллфлекс несущая способность крепи увеличивалась в 2-3 раза, конвергенция снижалась на 15 %, коэффициент заполнения пустот при увеличении диаметра рукавов с 230 мм до 330 мм возрастал с 62 % до 82 %, под воздействием вмещающих пород возможно частичное разрушение материала заполнения, несущая способность арки уменьшается, но остается в 2 раза выше, чем при забутовке закрепного пространства породой вручную. По сравнению со способом полного тампонажа закрепного пространства значительно сокращается расход цементных смесей, снижается трудоемкость операций, связанных с возведением изолирующих оболочек в месте производства работ. В числе недостатков отмечаются:

многооперационность, необходимость применения специального оборудования, сложности реализации технологии и ее высокая стоимость; полная или частичная потеря контакта рукава с вмещающими породами в случаях значительных пустот над крепью, обусловленных перебором сечения или наличием слабоустойчивых пород; необходимость использования межрамных ограждений; отсутствие возможности в полной мере сдерживать образование и развитие вокруг выработки зон неупругих деформаций и разрушенных пород.

В развитии анкерной крепи можно выделить три этапа: 1 – анкерная крепь распорного типа; 2 – сталеполимерная анкерная крепь; 3 – анкера глубокого заложения (канатные и составные анкера).

В работе [127] исследовалось вертикальное, наклонное и комбинированное расположение анкеров, установленных под углом 70° относительно продольной оси выработки с сеткой (рисунок 1.4).

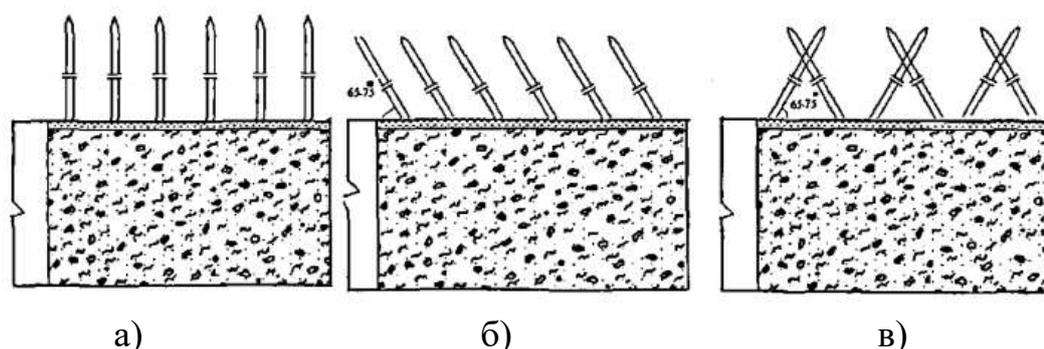


Рисунок 1.4. Схемы расположения анкеров: а - вертикальное; б - под углом в сторону забоя; в – комбинированное

Исследования позволили определить, что повышение устойчивости выработок в условиях динамических явлений различной интенсивности и выбор вида крепи осуществляются за счет применения трубчатых анкеров взрывного закрепления с элементами самонатяжения и податливости, закрепления анкеров с подачей сыпучих и жидких компонентов в аэрированном виде из отдельных каналов, металлической решетки и набрызгбетона [127].

Совершенствование анкерного крепления происходит как в части создания конструкций анкеров с повышением надежности их фиксации в шпурах и скважинах, так и специального оборудования для бурения скважин и установки

анкеров. Так, применение в горной промышленности анкеров с полимерным закреплением, с одной стороны, ограничивается высокой стоимостью смолы, с другой, – целесообразность их применения обусловлена коротким временем схватывания и способностью почти моментальной обеспечивать поддержание пород свежесобранной кровли, особенно слабых и обводненных пород [122]. Перспективным направлением является применение полиэстеровой сетки, которая не подвержена коррозии и способствует увеличению скорости крепления.

Основными тенденциями совершенствования анкерной крепи являются:

- увеличение несущей способности анкера, применение многоуровневого крепления, уменьшение продолжительности операций по установке анкеров;
- сокращение стоимости анкерной крепи.

В работе [5] доказано, что при наличии достаточно устойчивых пород анкерную крепь в зоне влияния нарушения применять можно, при условии принятия в расчетах прочности пород кровли и боков коэффициента структурного ослабления $K_c = 0,3$ [126]. При встрече в зоне влияния нарушения сильно трещиноватых пород целесообразно произвести их упрочнение нагнетанием цементных растворов или полимерных смол. Параметры нагнетания в этом случае следует принимать по рекомендациям специализированных организаций. При обнаружении признаков куполения кровли необходимо перейти на крепление рамной крепью с тщательной забутовкой пустот за крепью. В качестве анкерной крепи второго уровня принимаются канатные анкеры глубокого заложения, параметры которых определяют в зависимости от высоты свода естественного равновесия над рассматриваемой горной выработкой, а в горных выработках, расположенных непосредственно в зонах геологических нарушений, на расстоянии от сместителя менее « $N_{\text{нор}}$ » в обе стороны можно применять комбинированные крепи (анкерная крепь в сочетании с другими типами ограждающей или поддерживающей крепи) [101].

Конструкции применяемых анкерных крепей и систем условно можно разделить по следующим классификационным признакам [19,22,27,33,36,42, 57,89,113,117,120,136,138] (таблица 1.2).

Таблица 1.2. Классификационные характеристики анкерных крепей

Характеристика	Значение
Функциональные характеристики	
Схема работы анкеров	<ul style="list-style-type: none"> – подшивка пород; – армирование пород; – усиливающая крепь
Состояние анкера в момент установки	<ul style="list-style-type: none"> – активная, нагружает массив непосредственно момента установки анкера; – пассивная, при установке анкер не играет никакой роли в поддержании, пока не начнется сдвигание массива, крепь не нагружается
Характер работы анкера	<ul style="list-style-type: none"> – жесткая; – податливая
Системы анкерного крепления	<ul style="list-style-type: none"> – одноуровневое; – двухуровневые; – комбинированные
Характеристики крепления	
Способ крепления	<ul style="list-style-type: none"> – механический; – химический; – взрывной
Механизмы крепления в массиве горных пород	<ul style="list-style-type: none"> – с механическим закреплением анкерных стержней в шпуре (замковые, винтовые, фрикционные, комбинированные анкеры); – с закреплением химическими твердеющими составами; – комбинации этих типов
Механизмы крепления в массиве горных пород	<ul style="list-style-type: none"> – с механическим закреплением анкерных стержней в шпуре (замковые, винтовые, фрикционные, комбинированные анкеры); – с закреплением химическими твердеющими составами; – комбинации этих типов
Виды замков анкеров	<ul style="list-style-type: none"> – клинощелевые; – распорные; – винтовые
Характер закрепления анкеров в породах	<ul style="list-style-type: none"> – с закреплением в лонной части скважины (замковые анкеры); – с закреплением по всей длине скважины или значительной ее части
Классификация химических анкеров	<ul style="list-style-type: none"> – с «точечным» закреплением и по всей длине; – по типу химсостава (полимер, минеральное быстросхватывающее вещество); – по технологии возведению (ампульной, нагнетательной) и др.
Конструктивные характеристики	
Материал анкера	<ul style="list-style-type: none"> – металлический; – железобетонный; – деревянный; – сталеполимерный
Полость анкера	<ul style="list-style-type: none"> – трубчатый; – сплошной; – комбинированный
Механические характеристики анкеров	<ul style="list-style-type: none"> – усилие на разрыв; – усилие на срез; – усилие на выдергивание; – коэффициент армирования; – рабочее сопротивление

Для обеспечения устойчивости выработок, закрепленных анкерной крепью на протяжении всего срока эксплуатации, в том числе в зоне влияния очистного

выработанного пространства, геологических нарушений, повышенного горного давления, а также при наличии критических смещений пород кровли, выявленных в ходе инструментального контроля, возводится крепь усиления.

Таким образом, анализ перспективных технических разработок по поддержанию горных выработок впоказывает, что в настоящее время анкерное упрочнение массива является наиболее передовым и технически оснащенным. Следует учитывать, что этот вид крепления не всегда отвечает повышенным требованиям обеспечения устойчивости горных пород. Несмотря на то, что анкерная крепь обладает высоким сопротивлением выдергивающему усилию, она обеспечивает надежное поддержание кровли выработок только при крупной блочности массива и незначительной трещиноватости [122].

Исходя из того, что на текущий момент протяженность горных выработок может насчитывать десятки километров на одном руднике, актуальным становится вопрос о внедрении современных технологий их крепления, обеспечивающих экономическую выгоду для горного предприятия и безопасность для работающего персонала. В работе [20] рассмотрен один из перспективных способов крепления горных выработок, основанный на демпфировании импульсного воздействия волн динамических напряжений на контуре выработок при помощи многослойных крепей, которые включают специальный амортизирующий слой. Также выделен ряд модификаций анкеров, позволяющих существенно повысить их несущую способность: комбинированный железобетонный анкер, анкер трубчатый гидрораспорный, анкер сталеполимерный замковый, железобетонный анкер с двухконусным контурным замком, сеймостойкая крепь. Принцип действия следующий: анкеры-волноводы связываются с экраном в целостную пространственную конструкцию, а свободное место между естественной поверхностью выработки и экраном заполняется сейсмораспределительным слоем податливого материала. Динамические радиальные усилия, действующие со стороны массива в сторону выработки, воспринимаются экраном и посредством анкеров передаются на участок, отстоящий от поверхности на расстояние, равное длине анкеров-волноводов. Такая связь, по мнению автора, обеспечивает

перераспределение динамических растягивающих усилий на более значительную площадь, их передачу в глубину массива, где он нарушен в меньшей мере и пребывает в объемном напряженном состоянии [16]. В данных типах крепей амортизирующим слоем выступает малопрочный податливый материал типа вспенивающихся пластмасс, пенобетонов и т. п. [54].

Среди традиционных крепей следует выделить модификации анкеров, позволяющие существенно повысить их несущую способность (рисунок 1.5).

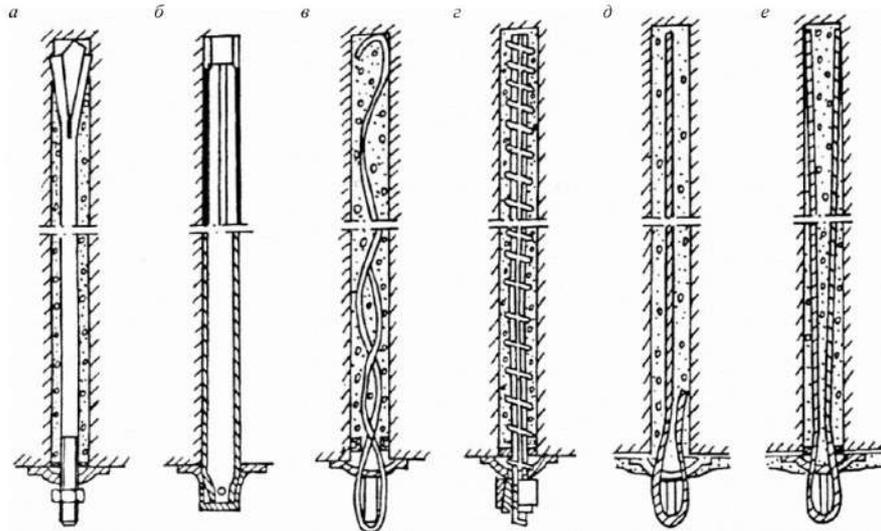


Рисунок 1.5. Конструкции сейсмостойких анкеров: а – комбинированный железобетонный; б – трубчатый гидрораспорный; в – трособетонный; г – сталеполимерный с универсальным опорным элементом; д, е – одно- и двухствержневой железобетонный с клиновым опорным элементом [20]

Сейсмическая стойкость крепи повышается, считает автор, как за счет сейсмоэкранирующего эффекта самой анкерной крепи, так и за счет дополнительного поглощения остаточных сейсмоперемещений податливым материалом на контактах пород и анкеров с бетоном.

Другим перспективным направлением является внедрение способов возведения сейсмостойких бетонных крепей, основанных на использовании покрытия из низко модульного материала, выполняющего функцию антисейсмического экрана и обеспечивающего сохранность бетонной обделки при сейсмоподвижках пород.

Эффективное крепление горных выработок при подземной разработке месторождений подразумевает совершенствование технологии крепления и

методики расчета крепей, а использование новых видов крепи в практике ведения подземных горных работ реализует принцип ресурсосберегающей, безотходной технологии крепления, повышает производительность труда, снижает стоимость сооружения выемочных выработок и себестоимость добычи, обеспечивает безопасность ведения горных работ. Наиболее важную роль в повышении эффективности применения крепи и надежности поддержания устойчивости горных выработок играют методики выбора типа и расчета параметров крепи, которые определяют фактический уровень безопасности при креплении и длительной эксплуатации выработок на горных предприятиях. В зависимости от того, насколько корректно рассчитаны параметры крепления, изменяются несущая способность, износостойкость и ремонтнопригодность крепи горных выработок.

1.4. Методики выбора типа и расчета параметров крепи горных выработок

В вопросе повышения эффективности и безопасности горных работ при добыче полезных ископаемых значимая роль отводится совершенствованию способов и средств крепления сопряжений вскрывающих, подготавливающих и выемочных выработок различного назначения. Поддержание горных выработок и их сопряжений в эксплуатационном состоянии часто затруднено из-за недостаточно обоснованного выбора схем их расположения, несоответствия применяемых типов крепи, способов сооружения и охраны конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям. Широкое разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий при сооружении и поддержании сопряжений горных выработок требует применения различных видов крепи в зависимости от их назначения, расположения, размеров и сроков эксплуатации. Поэтому решающее значение приобретают работы, направленные на обоснование и выбор рациональных параметров крепи сопряжений для всего многообразия горных выработок, обеспечивающие их надежное и безремонтное поддержание не только в обычных, но и в сложных условиях [90]. Основными факторами, определяющими выбор конструкций анкерной крепи, являются назначение, срок

службы выработок, их форма и размеры, интенсивность горного давления, а также степень устойчивости вмещающих пород.

В работе [7], исходя из зависимостей деформирования крепких пород кровли горных выработок, предложено прогнозировать количество расслоившихся слабых контактов и дифференцированно выбирать на основе прогноза параметры анкерной крепи, крепи усиления и охранных конструкций для обеспечения эффективного и безопасного проведения и поддержания подземных выработок.

Действующие методики выбора крепи предусматривали использование двух классификаций горных пород: по устойчивости (для выработок, расположенных в нетронутым массиве и зонах опорного давления) и по нарушенности (для выработок, расположенных в зонах разгрузки). В качестве критерия проявлений горного давления принимались только смещения породного контура за весь срок службы выработки без учета форм разрушений контура, характерных для тех или иных геомеханических условий эксплуатации. В работе [6] рассмотрены способы крепления выработок, пройденных в предельно-напряженном горном массиве блочного строения, учитывающие установленные закономерности деформирования пород и обеспечивающие устойчивость породных обнажений. Предложено тип, параметры и конструкцию крепи устанавливать на основе прогноза не только величин смещений кровли и действующих в массиве напряжений, но и обязательно учитывать возможные деформации контура выработок и форм разрушений массива пород, характерных для тех или иных геомеханических условий проведения и эксплуатации выработок. В качестве критерия интенсивности проявлений горного давления в выработках предложено принимать смещения их породного контура за весь срок службы [6].

Геомеханические условия проведения и поддержания выработок определяются интенсивностью проявлений горного давления в зоне влияния очистных работ и расположением выработок относительно выработанного пространства, по которым можно выделить:

1) группа А – выработки, проводимые в массиве вне зоны влияния очистных работ без наличия тектонических нарушений;

2) группа В – выработки, проводимые в массиве по рудному телу до начала влияния очистных работ, затем подвергающиеся их влиянию и погашаемые за очистным забоем; выработки, проводимые по рудному телу вблизи зон тектонических нарушений и пересекающие их;

3) группа С – выработки, проводимые в массиве до начала влияния очистных работ, подвергающиеся их влиянию и сохраняемые после выемки рудной залежи в подработанном или надработанном массиве.

В зависимости от назначения и сроков службы выработки ее поддержание на каждый период эксплуатации может осуществляться одним видом крепи, но с параметрами, соответствующими реализации смещений породного контура в конкретной геомеханической ситуации. Обоснованно выбирать тип крепи, соответствующей реальным геологическим и геомеханическим условиям эксплуатации выработок, и выполнять расчеты ее параметров возможно, используя классификацию видов крепи для различных геомеханических условий (таблица 1.3).

Таблица 1.3. Рациональные виды крепи выработок для различных геомеханических условий [6]

Группа выработок	Рациональные типы крепи	Примечание
I класс Группа А	Монолитная бетонная и железобетонная; тюбинговая; комбинированная из монолитного бетона и железобетона и анкеров; комбинированная из анкеров, сварной металлической решетки и набрызг-бетона	
II класс Группа А, С, Д	Монолитная бетонная и железобетонная; монолитная бетонная и железобетонная с поясами податливости, металлическая арочная податливая; металлическая податливая с анкерами; комбинированная из анкеров, металлической сварной решетки и набрызг-бетона	В зонах тектонических нарушений предусматривается упрочнение вмещающих пород смолами или цементацией (при необходимости)
III класс Группа А, В	Анкерная; набрызг-бетонная, металлическая арочная, податливая с анкерами; комбинированная из анкеров, сварной металлической решетки и набрызг-бетона	
IV класс Группа А	При небольшом сроке службы выработки в слабонарушеиных породах и рудах могут эксплуатироваться без крепи	

Следует различать три вида потери устойчивости пород.

Первый тип – вывалы, отслоения, обрушения горной массы по поверхностям ослабления, трещинам, контактам, напластованию, сланцеватости. Исследования [6] показали, что данный вид потери устойчивости наблюдается, как правило, в сильно нарушенных массивах при больших углах падения поверхностей ослабления.

Второй тип – разрушение пород в зонах концентрации напряжений. Данная форма неустойчивости выработок проявляется в сильно напряженных массивах на большой глубине, а также в зонах влияния очистных работ, когда подготовительные выработки оказываются в зоне опорного давления или при действии в массиве высоких тектонических напряжений.

Третий тип – значительные смещения пород в выработку, приводящие к уменьшению ее поперечного сечения. Данный вид потери устойчивости характерен для проходки выработок на большой глубине в породах малой прочности.

Метод расчета рамной крепи изложен в «Инструкции по выбору рамных податливых крепей горных выработок» [56], утвержденной в 1991 г. Порядок выбора размеров сечений и расчета параметров крепи для конкретной горной выработки следующий:

а) выбирают размеры расчетного поперечного сечения выработки в свету, учитывая требования по различным условиям;

б) приближенно определяют размеры поперечного сечения выработки в проходке с учетом толщины и податливости крепи и толщины забутовочного материала;

в) рассчитывают ожидаемые смещения пород дифференцированно в кровле, боках и почве выработки с учетом влияния геологических и горнотехнических факторов;

г) по величине максимальных смещений пород на контуре выработки определяют нормативную и расчетную нагрузки на крепь, выбирают ее тип,

конструкцию и с учетом сопротивления рамной крепи рассчитывают плотность установки.

Авторами [124] рассмотрены вопросы по оценке устойчивости горного массива, даны рекомендации по выбору типов и расчету параметров крепей горизонтальных выработок, основные конструктивные и технологические требования к возводимым крепям с учетом изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий, осложняющих прогнозирование состояния пород при строительстве выработок, а также изложена методика выбора крепи с конкретизацией вопросов крепления в сложных условиях проявления динамических (шелушение, стреляние, горный удар) и пластических (отжим, пучение, выдавливание) форм горного давления.

Выбор вида крепи выработок производится в соответствии с требованиями Инструкции [21], расчет параметров выбранного вида крепи осуществляется на основе рекомендаций, представленных в п. 4. При выборе вида крепей предпочтение следует отдавать наиболее современным и экономичным видам крепи, в частности, анкерным различных типов, анкерным с сеткой, комбинированной и усиленной комбинированной. Также выполняется выбор типа и параметров крепи по действующим в настоящее время рекомендациям [108] с целью проверки сходимости полученных результатов.

В работе [133] рассмотрен способ выбора конструкции крепи, основанный на использовании системы рейтинга массива горных пород RMR (Rock Mass Rating) и Q-рейтинга.

В системе RMR рейтинговая оценка качества массива по склонности горных пород к вывалам, отслоениям при их обнажении в кровле выработок производится по совокупности шести показателей: прочность горной породы при одноосном сжатии, коэффициент нарушенности кернов, соотношение расстояния между поверхностями разрушения, состояние поверхностей разрушения, воздействие подземных вод и пространственная ориентация поверхностей разрушения относительно проектируемой горной выработки. Для каждого параметра из заданных интервалов его изменения выбирается соответствующая характеристика

оцениваемого массива. По формулам зависимостей производится переход к устойчивости породного массива. После этого производится выбор конструкции крепи. Система RMR может быть использована для оценки качества породного массива и выбора конструкций крепей горизонтальных, наклонных горных выработок, а также находящихся в них камер. Сущностью предлагаемого подхода по выбору конструкции крепи является определение силы, действующей со стороны вывала горной породы в кровле на крепь горной выработки. В зависимости от величины этой силы и связанной с ней категории горной выработки производится выбор конструкции ее крепи. Автором [133] показан недостаток такого подхода, заключающийся в том, что, как и его аналоги, данный подход остается грубым средством принятия решений в рассматриваемой области.

В работе [118] авторы исследования показали возможность оценки устойчивости пород в течение всего срока службы выработки в зоне влияния очистных работ посредством предложенного критерия устойчивости, который зависит от уровня концентрации напряжений на контуре выработки, ширины выработки, объемного веса налегающих пород, глубины отработки, коэффициента Пуассона, среднего сопротивления пород в образце одноосному сжатию, угла падения залежи или наиболее развитой системы трещин, угла встречи оси выработки с наиболее развитой системой трещин, длительной прочности массива, структурного ослабления массива и динамического воздействия взрывных работ.

В работе [41] рассмотрена методика расчета параметров крепления горных выработок большого сечения, приведены расчетные схемы различного вида сопряжений выработок, наиболее трудных для обоснования параметров крепления, а также даны основные формулы методики расчета и перечень рассчитываемых параметров. По эмпирическим формулам определяются следующие параметры: глубина расслоения пород кровли на прилегающих участках сопряжений выработок, интенсивность вертикальной нагрузки на анкеры или стойки временной крепи, а также на рамы (арки) постоянной крепи сопряжения, максимальная интенсивность вертикальной нагрузки на 1 м^2 поддерживаемой кровли, интенсивность боковой нагрузки на 1 м длины сопряжения выработок,

допускаемые нагрузки на крепь сопряжений выработок для разных типов анкеров, предельная допускаемая нагрузка на металлические рамные (арочные) крепи, элементы перекрытий и верхняки опорных рам допускаемые нагрузки на осевое сжатие деревянных стоек временной крепи.

Методика крепления горных выработок в условиях проявления зональной дезинтеграции дана в работе [6]. Основным признаком зональной дезинтеграции является разрушение массива на контуре и в глубине массива с образованием чередующихся зон нарушенных и условно ненарушенных пород, повторяющих контур выработки. При этом массив приобретает структуру и свойства слоистого массива. Крепление выработок в таком массиве, по мнению автора, целесообразно осуществлять комбинированной крепью путем формирования с помощью анкеров несущего слоя определенной мощности. В зонах разгрузки находятся выработки, расположенные в подработанном и надработанном массивах, пройденные вприсечку к закладочному массиву, проведенные и поддерживаемые в массиве, разгруженном скважинами большого диаметра. Для вновь подготавливаемых горизонтов в случае применения жестких видов крепи (монолитный бетон, железобетон, набрызг-бетон и т. п.) выработки в подрабатываемом массиве располагают за пределами областей повышенных и критических деформаций.

За критерий оценки устойчивости закрепленных подготовительных выработок, пройденных вблизи тектонических нарушений, принята предельная величина смещений их контура. В работе установлена связь величины амплитуды смещения нарушения с размерами зон нарушенности в висячем и лежащих боках нарушений и величина коэффициента структурного ослабления.

Анализ мирового опыта за последние десятилетия показывает, что при проведении горных выработок равновесие пород нарушается, происходит перераспределение первоначальных напряжений, деформация пород проявляется в смещениях стенок и кровли выработок, прогибах слоев, появлении трещин и обрушении горных пород, что приводит к неудовлетворительному состоянию выработок. Крепление горных выработок с обеспечением их длительной устойчивости – наиболее сложный и трудоемкий процесс в горнопроходческом

цикле работ. Проблема обеспечения устойчивости подземных выработок с учетом воздействия на них статических и динамических сил при обосновании параметров крепи является одной из основных проблем повышения технико-экономической эффективности подземной добычи полезных ископаемых (таблице 1.4).

Таблица 1.4. Систематизация направлений исследований по повышению устойчивости подземных горных выработок в условиях высоких статических и динамических нагрузок при подземной разработке месторождений

Авторы	Направления научных исследований	Полученные решения
1	2	3
Айнбиндер И.И.	Научное обоснование геотехнологических и геомеханических технологий комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых	Теоретические основы и методы управления горным давлением на основе развития геомеханических процессов, происходящих в массиве горных пород
Антонов Ю.Н.	Обеспечение устойчивости выработок при проведении параллельных взаимовлияющих выработок в массиве слабых и средней крепости руд	Разработана методика расчета нагрузок на крепь взаимовлияющих параллельных выработок в слабом рудном массиве
Бадтиев Б.П.	Определение закономерностей смещений и деформаций пород, характерных для различных геомеханических условий существования выработок, разработка способов их крепления и поддержания в предельно-напряженном горном массиве	Предложена классификация устойчивости горных пород, учитывающая тип геотехнических условий проведения и эксплуатации подземных выработок
Беликов А.В.	Обоснование эффективных параметров крепей и охранных конструкций, обеспечивающих безопасное и экономически эффективное их поддержание в сложных горно-геологических условиях	Установлены зависимости влияния слабых контактов в крепких породах кровли на высоту зоны неупругих деформаций, величину смещений кровли, формирование нагрузки на анкерные крепи
Белоусов Е.А.	Обоснование способов проведения и крепления капитальных выработок в удароопасных условиях	Предложены комбинированные облегченные типы крепей, используемые в удароопасных условиях
Борщ-Компониец В.И.	Представление о горном давлении и методов управления им при разработке рудных месторождений	Теория структурного ослабления массива горных пород трещинами, форм проявления и влияние данного явления на прочность и деформируемость при оценке устойчивости подземных горных выработок

Авторы	Направления научных исследований	Полученные решения
1	2	3
Булычев Н.С., Фотиева Н.Н.	Механика подземных сооружений	Основные расчетные положения параметров крепления подземных транспортных и горных выработок
Губанов В.А.	Исследование характера изменения контура подготовительных выработок в зонах временного и остаточного опорного давления в зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий с учетом реологических свойств соляных пород.	Разработана методика определения пород основной и непосредственной кровли на обрушаемость; разработан метод определения деформации элементов выработки в зоне опорного давления и различных горно-геологических условиях
Ермаков А.Ю., Васильев П.В.	Обоснование параметров крепи горных выработок в зонах повышенного горного давления	Предложена методика расчета параметров крепления горных выработок большого сечения и расчетные схемы различного вида сопряжений выработок наиболее трудных для обоснования параметров крепления
Зотеев О.В.	Научные основы расчета конструктивных параметров систем подземной разработки руд с учетом структуры массива и порядка ведения горных работ	Разработаны методология и комплекс программ, обеспечивающие учет совместного влияния структуры массива, его физико - механических свойств и последовательности развития горных работ при расчетах НДС элементов систем разработки
Зубков А.А.	Интенсификация процессов добычи при подземной разработке месторождений полезных ископаемых	Увеличение скорости проходки горных выработок, а также управления состоянием массива горных пород путем применения новых конструкций крепи и материалов для технологии закладки выработанных пространств
Зыков Д.Б.	Прогнозирование устойчивости подготовительных выработок на основе учета напряженного состояния нетронутого рудно-кристаллического массива сложного строения и несущей способности рыхлых руд при применении поддерживающих видов крепи.	Разработана методика расчета вертикальных и горизонтальных нагрузок на поддерживающую крепь выработок в рыхлых рудах, определены рациональные виды и параметры крепей для поддержания выработок, проводимых по рыхлым рудам.
Казанин О.И. Ильинец А.А.	Обеспечение устойчивости выработок в течение всего срока их службы, геомеханическое обоснование параметров целиков и выработок при подготовке	Разработаны рекомендации по выбору места расположения выработок, ширины целиков, паспортов крепления, обеспечивающих устойчивое

Авторы	Направления научных исследований	Полученные решения
1	2	3
	выемочных участков тремя штреками	состояние выработок в течение всего срока службы
Компанейцев А.Ю.	Выявление факторов, влияющих на выбор параметров крепи и охраны подготовительных выработок в зоне влияния дизъюнктивных геологических нарушений; изучение геомеханических зависимостей состояния горных массивов и действия крепей в зоне влияния дизъюнктивных геологических нарушений	Получены аналитические зависимости для определения протяженности зоны влияния дизъюнктивных нарушений и высоты распространения зоны неупругих деформаций; разработана методика расчета оптимальных технологических параметров крепления и охраны подготовительных выработок
Корбашов М.А.	Обоснование пространственно-планировочных и технологических решений при выборе схемы расположения и способа повышения устойчивости системы слоевых подготовительных выработок при отработке выемочных участков мощных пологих пластов	Выявлен ранг горно-геологических факторов, влияющих на устойчивость слоевых выработок, разработаны рекомендации по выбору типов и конструкций крепей по предельным смещениям и глубине зоны разрушения угля
Макаров А.Б.	Геомеханическое обоснование систем разработки и их параметров, управление геомеханическими процессами при подземной разработке рудных месторождений	Методы расчета устойчивости целиков и перераспределения нагрузок, комплексного мониторинга за состоянием выработок с учетом сейсмической активности массива, сдвижения земной поверхности и других факторов повторной разработки
Попов М.Г.	Обеспечение устойчивости выработок в зонах ослаблений рудного массива в условиях Яковлевского рудника	Разработаны методика расчета нагрузок на крепь выработок в зонах ослаблений рудного тела и конструкция анкерной крепи для выработок, пройденных в зонах тектонических нарушений
Рыльникова М.В. и коллектив авторов	Обеспечение устойчивости выработок при добыче твердых полезных ископаемых	Разработка нормативных требований по технологии обеспечения устойчивости выработок для дополнения единых правил безопасности при добыче и переработке твердых полезных ископаемых
Ткачев В.А.	Обоснование способов охраны и конструкции крепи подготовительных выработок на основе прогноза смещений пород в выработках при различных способах их охраны с целью повышения устойчивости	Выявлены закономерности взаимодействия крепи подготовительных выработок с массивом пород при различных схемах их охраны от влияния очистного забоя, предложена методика расчета рациональных

Авторы	Направления научных исследований	Полученные решения
1	2	3
	выработок и снижения затрат на их крепление	параметров анкерно-рамной крепи подготовительных выработок
Томилов А.Н.	Обоснование параметров технологии анкерного крепления горных выработок с учетом влияющих факторов условий эксплуатации для обеспечения устойчивости контура горной выработки	Установлены закономерности изменения параметров анкерного крепления горных выработок от глубины заложения, ширины выработки, сопротивления пород кровли на сжатие, позволяющих выбирать и создавать обоснованный вариант вида технологии анкерного крепления
Туртыгина Н.А., Охрименко А.В., Шубрик А.С., Карачок С.А.	Рассмотрены вопросы по оценке устойчивости горного массива и выбору крепи в сложных горнотехнических и инженерно-геологических условиях	Даны рекомендации по выбору типов и расчету параметров крепей горизонтальных выработок, основные конструктивные и технологические требования к возводимым крепям с учетом изменчивости горно-геологических и горнотехнических условий
Федоренко А.И.	Установление закономерностей распределения напряжений в приконтурном массиве, в зависимости от угла расположения анкеров относительно продольной оси выработки, для разработки эффективной технологии взрывного закрепления выработок	Выявлены зависимости несущей способности трубчатого анкера взрывного закрепления от соотношения внешнего и внутреннего радиусов, площади контакта с поверхностью шпура, деформации Ф-образной плиты опорного элемента анкера от нагрузки
Хвещук Н.М.	Изучение закономерностей геомеханических процессов, происходящих при многослойном проведении подготовительных выработок по мощным пластам с поэтапным возведением крепи, для разработки и обоснования способов и средств, обеспечивающих повышение их устойчивости	Разработана методика выбора и расчета параметров металлической и деревянной анкерной крепи подготовительных выработок большого сечения с учетом геомеханических процессов, происходящих в массивах вокруг выработок и закономерностей горного давления при отработке мощных угольных пластов на полную мощность
Цыганков Д.А.	Обоснование способа выбора конструкции крепи подземной горной выработки	Предложен подход по выбору конструкции крепи на основе определения силы, действующей со стороны вывала горной породы в кровле на крепь горной выработки

Из вышеизложенного следует, что большой объем теоретических работ, выполненных в России и за рубежом, определил основные направления совершенствования способов расположения, охраны и крепления подготовительных выработок.

Изучение механизмов разрушения пород, оценка устойчивости подземных конструкций при различных условиях нагружения представляет актуальную задачу для практики эксплуатации месторождений, требующую новых подходов и методов расчета параметров крепления горных выработок. Несмотря на многочисленность выполненных исследований, недостаточно изучены особенности влияния статических и динамических нагрузок на состояние подземных выработок, не в полной мере разработаны эффективные способы проведения и крепления выработок в массиве с тектоническими полями напряжений. Ряд принципиальных вопросов, связанных с геомеханическим состоянием в окрестности подготовительных выработок в течение всего их срока службы, недостаточно изучен и нуждается в дальнейшей разработке путем аналитических исследований, моделирования и проверки в производственных условиях. Актуальными являются исследования, направленные на разработку научно обоснованных геомеханических способов и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах геологических нарушений и повышенного горного давления с учетом пространственной ориентировки выработок относительно природной и техногенной трещиноватости при подземной разработке месторождений. Необходимость поддержания подготовительных выработок в рабочем и безопасном состоянии стимулирует поиск новых геотехнологических решений по совершенствованию конструкции и методов расчета параметров крепи длительного срока эксплуатации.

1.5. Цель, задачи и методы исследований

Исследование параметров полей напряжений и деформаций в приконтурном массиве горных выработок, оценка несущей способности, износостойкости и

ремонтнопригодности крепи горных выработок, определение типа и параметров крепи в сложных горно-геологических и геомеханических условиях необходимы для комплексного обоснования геотехнологических решений, обеспечивающих устойчивость горных выработок, поддержание их в рабочем и безопасном состоянии в течение всего периода отработки и, следовательно, безопасное функционирование всех производственных структур рудника, непосредственно связанных с соответствующими комплексами рабочих процессов.

На сегодняшний день горное производство обладает более чем полувековым опытом использования анкерной крепи, однако вопрос создания универсальной методики расчета параметров крепи длительного срока эксплуатации остается важным и своевременным.

Целью исследования является 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.

Для достижения поставленной цели исследования сформированы и впоследствии будут реализованы следующие задачи:

- 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 ее элементов с массивом горных пород и разработка методики расчета параметров крепи;
- оценка нагрузочных характеристик, износостойкости и ремонтпригодности 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.

В процессе диссертационных исследований применим комплекс следующих методов исследования: математическое моделирование, систематизация информации из источников научно-технической литературы по тематике работы, лабораторные, экспериментальные и натурные исследования, исследование свойств горных пород и руд, методы инструментальной оценки напряжений в приконтурных зонах горных выработок, промышленный эксперимент, математическая статистика и технико-экономическая оценка результатов.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ВЫБОРА ТИПА И ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

2.1. Методы проектирования типа, конструкций и параметров крепи

Проектирование технологии крепления горных выработок – специализированная область, которая фундаментально отличается от проектирования других промышленных и гражданских сооружений. Процесс проектирования крепи горных выработок должен учитывать все особенности проходки и эксплуатации горных выработок:

- горная порода – это и объект, и средство крепления, следовательно, уже обладает определенными показателями (которые известны только частично);
- условия крепления постоянно изменяются;
- имеются ограничения в получении полноценной информации при геологических изысканиях;
- существуют ограничения в точности определения характеристик горных пород при проведении испытаний;
- существуют ограничения и допущения в методах моделирования и математического анализа;
- поведение горных выработок зависит от времени и подвергается влиянию от изменения гидрогеологических условий;
- несовместимость между временем, необходимым для проверки вычисления и результатов моделирования, и временем, которым мы располагаем для закрепления горной породы.

Очевидно, что выбор типа, конструкции, параметров крепи подземных выработок должен быть адаптирован к непрерывному процессу строительства – проходки. Этому требованию в данном случае отвечает принцип «In situ» – проектирую на месте в ходе строительства.

Проекты крепления многих подземных объектов до сих пор основываются на предварительных исследованиях горного массива. Традиционный метод – оценка

нагрузки/несущей способности/коэффициента запаса – часто приводит к принятию более консервативных геотехнологических решений, которые могут быть оправданы только для небольшой части сооружаемых горных выработок.

Методы вычисления являются важной частью проектирования крепления горных выработок. Для того, чтобы рассчитать нагрузку, определить напряжения, деформации, параметры крепи необходимо максимально правильно установить исходные характеристики горных пород, корректно выбрать математическую модель для расчета и воспользоваться соответствующими расчетными формулами или компьютерными программами. Для этого необходимо:

- произвести отбор проб и определить необходимые характеристики горных пород;
- определить показатели, связанные с трещиноватостью массива;
- измерить естественные напряжения пород, как правило, с использованием соответствующих методов и оборудования;
- исследовать гидрогеологические условия;
- проанализировать геометрические данные подземного сооружения (форму, размеры и т.д.);
- проанализировать масштабный эффект для характеристик горных пород, полученных лабораторным путем;
- проанализировать влияние схемы и порядка отработки месторождения, определить последовательность разработки;
- установить параметры конструкции и материалов крепи горных выработок.

Аналитические расчеты могут производиться оперативно и подходят для приблизительных и предварительных оценок при проектировании крепления горных выработок в сравнительно благоприятных горно-геологических и гидрогеологических условиях. В более сложных ситуациях возможности аналитических методов расчета, как правило, ограничены. Численное моделирование (например, методом конечных элементов), проводится с помощью специализированных программ часто в двухмерной постановке, реже –

трехмерной. Как правило, требуется несколько дней для подготовки расчетной модели, выполнения расчетов и получения результатов. В то же время созданная на этапе проектирования расчетная модель может служить основой для внесения необходимых корректировок во время непосредственного ведения работ в горной выработке, и анализ устойчивости на базе повторного моделирования можно провести значительно быстрее.

Эмпирические методы, основанные на многолетнем практическом опыте, также оказываются результативными при проектировании крепления горных выработок. Они базируются на классификации горных пород и рекомендациях по типу крепи применительно к определенной группе пород и параметрам выработки. Некоторые из таких эмпирических методов позволяют оценить особенности горных пород, с которыми можно столкнуться в большинстве типично встречаемых случаев.

Эффективным методом оценки устойчивости массива является система рейтинговых оценок (рейтинговая классификация) качества массива. Наиболее широко распространены рейтинговые классификации Q-system Н. Бартона, RMR (RockMassRating – рейтинг массива горных пород) З. Бенявски и GSI (индекс геологической прочности), предложенный Хоеком и Брауном [140,141,142,150-162]. Метод Q, разработанный Норвежским Геотехническим Институтом (доктор Ник Бартон и др.), вероятно, самый распространенный из разработанных методов в этом направлении. На основе классификации массива определяются категория его устойчивости и рекомендуемые типы и конструкции крепи. Параметры крепления выбираются в каждом конкретном случае индивидуально, как правило, в пределах одного месторождения или его участка.

С другой стороны, все перечисленные методы расчетов в целом достаточно трудоемки, чтобы определять свойства породы и параметры крепи вслед за продвижением забоя выработки. От момента отбора проб, их тестирования и расчетов до выдачи рекомендаций по креплению проходит несколько дней, которые непозволительно терять при современных технологиях проходки.

Однако данные методы расчетов весьма эффективны и в наибольшей степени соответствуют специфике проблем на участке ведения горных работ. Главное ограничение всех этих методов заключается в том, что во всех расчетах, формулах и численных моделях имеют место некоторые допущения и аппроксимации. Поэтому не всегда можно рассчитывать на точность результатов расчетов, невозможно предсказать, где и когда произойдут обрушения или будут иметь место чрезмерные деформации. Сложная геометрия поверхности выработки при проходке буровзрывным способом, протекающие на границе вновь образованной породной поверхности процессы, зависящие от изменения свойств породы и свойств крепи, изменяющееся распределение напряжений также усложняют все расчеты.

Метод наблюдений в действенности существует с тех времен, когда человек начал строить подземные сооружения. Этот метод позволяет оперативно оценивать изменяющиеся горно-геологические условия и приспосабливаться к ним.

Основными элементами метода наблюдений являются следующие:

- крепь горных выработок должна проектироваться с учетом возможных изменений породных условий, как прогноз крепи;
- проверка соответствия прогноза реальным условиям должна производиться сразу после разработки породы и установки крепи;
- визуальный осмотр и мониторинг за состоянием крепи, деформациями, напряжениями;
- корректировка параметров и усиление крепи при необходимости в период эксплуатации выработки;
- прогноз каждого этапа строительства, необходимость обратного анализа предшествующих решений, чтобы максимально приспособлять крепь к существующим условиям.

Метод наблюдений предполагает гибкость в выборе типа и параметров крепления в четкой зависимости от поведения горного массива. В настоящее время

метод наблюдений признан одним из основных в практике подземного строительства во всем мире.

Новоавстрийский Тоннельный Метод (НАТМ) в наибольшей степени соответствует методу наблюдений. С учетом геомеханических особенностей управления состоянием массива в процессе строительства выработок при разработке месторождений, увеличения глубины разработки, ухудшения горногеологических характеристик пород, указанный метод тоннелестроения также возможно реализовать при ведении подземных горных работ.

Определение длины и расстояния между анкерами обсуждалось, вероятно с тех пор, как анкеры впервые начали использоваться для крепления при подземной разработке.

Ниже представлены принципы определения длины и расстояния между анкерами [151-162], которые используются в практике анкерной крепи на сегодняшний день. С точки зрения эксплуатации длина анкера должна быть меньше половины высоты выработки для кровли и половины ширины для бортов выработки во избежание трудностей при установке:

$$L_b \leq 0.5H \quad (2.1.1)$$

$$L_b \leq 0.5B \quad (2.1.2)$$

где L_b – длина анкера, H – высота выработки; B – ширина выработки.

Длина анкера также связана с принципом работы. В случае, когда зона разрушения ограничена относительно небольшой глубиной (рисунок 2.1.1 а), длина болта анкера быть не менее чем на 1 м больше глубины зоны разрушения, т. е.

$$L_b \geq df + 1 \quad (2.1.3)$$

где df – глубина зоны разрушения.

В случае обширной зоны разрушения (рисунок 2.1 б) длина анкера варьируется от 2 м до 3 м, но ее верхний предел определяется уравнениями (2.1.1) и (2.1.2) .

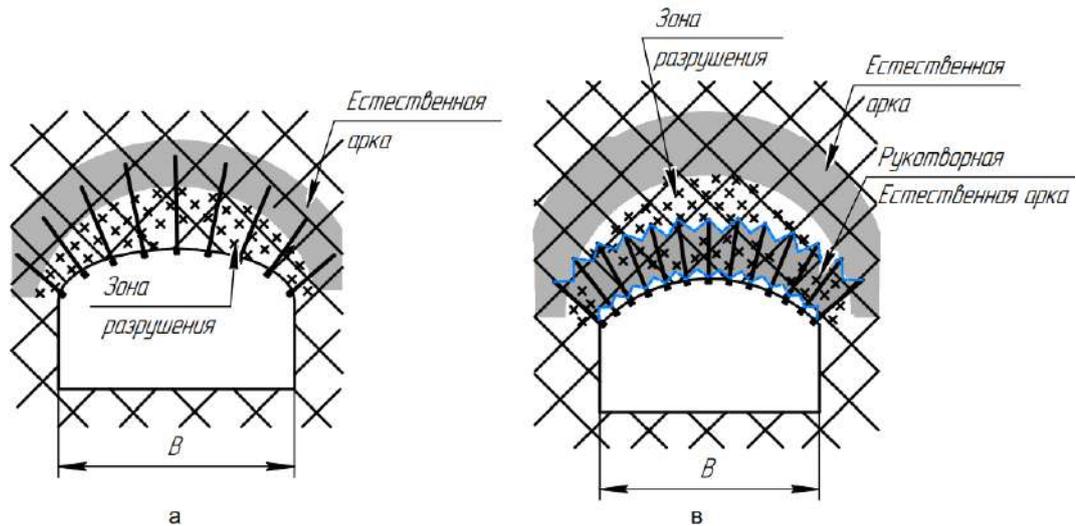


Рисунок 2.1. Методы анкерного крепления в двух различных горных породах: а – подвешивание зоны обрушения к устойчивой зоне; б – создание искусственной арки в зоне обрушения

На практике схема расположения анкеров такова, что расстояние между рядами и между анкерами в ряду равны.

Однако при определении расстояния следует также учитывать степень трещиноватости: размеры структурного блока. Согласно рекомендациям расстояние между анкерами не должно превышать 3-х кратного размера структурного блока массива.

В случае обширной зоны разрушения (рисунок 2.1 б) рекомендуется использовать относительно короткие предварительно напряженные анкеры для создания искусственной несущей арки в зоне разрушения.

Для анкерного крепления, направленного на создание искусственной несущей арки, необходимо, чтобы анкеры взаимодействовали друг с другом и в массиве образовывалась зона взаимодействия (рисунок 2.2).

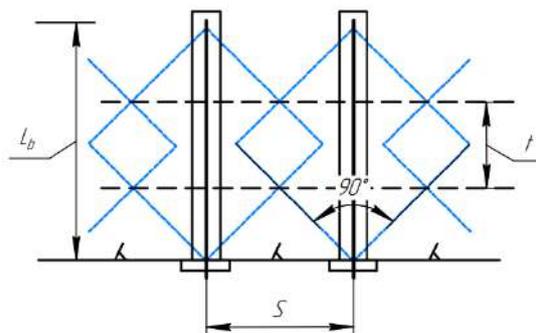


Рисунок. 2.2. Схема взаимодействия между анкерами

Если предположить, что угол влияния одиночного анкера составляет 90° , толщина зоны взаимодействия t связана с длиной болта (L_b) и расстоянием (s) следующим образом:

$$t=L_b-s \quad (2.1.4)$$

Длина анкера обычно не превышает 2-3 м. Мощность зоны взаимодействия должна быть не менее $0,5 L_b$, чтобы в разрушенной породе можно было установить достаточно прочную искусственную арку. Это требование приводит к тому, что расстояние между анкерами должно быть меньше половины длины анкера, т. е.

$$s \leq L_b/2. \quad (2.1.5)$$

На этапе проектирования подземной горной выработки длина и расстояние между анкерами часто определяются с помощью эмпирических методов, рекомендованных в различных системах классификации горных массивов. В системе классификации горных пород Бартонна [141] длину и расстояние можно найти на диаграмме, основанной на значении индекса качества массива (Q) и геометрическом параметре, называемом эквивалентным размером [140]. Эквивалентный размер определяется пролетом выработки и коэффициентом, характеризующим назначение выработки. В системе рейтинга массива горных пород Бениявски (RMR) [142] длина и шаг установки анкеров, а также других видов крепи эмпирически рекомендованы в таблице для пяти классов качества горного массива.

2.2. Обоснование выбора типа и конструкции крепи на основе оценки параметров, характеризующих приконтурную зону

На основании характеристик массива и величины действующих напряжений определяют категорию устойчивости массива [10,13,14,15,66,77,84,99,103]. При использовании классификации Q-system учитывается, что индекс Q определен с учетом величины действующих напряжений в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 2.1. Категории устойчивости выработок в зависимости от класса качества массива

Значение рейтинговых показателей	Класс качества массива					
	Класс I	Класс II	Класс III	Класс IV	Класс V	
	Очень хороший	Хороший	Удовлетворительный	Плохой	Очень плохой	
Q	$40 < Q$	$10 < Q \leq 40$	$4 < Q \leq 10$	$1 < Q \leq 4$	$Q \leq 1$	
RMR	$100 \div 81$	$80 \div 61$	$60 \div 41$	$40 \div 21$	< 20	
GSI	$80 < GSI$	$72 < GSI \leq 80$	$60 < GSI \leq 72$	$51 < GSI \leq 60$	$GSI \leq 51$	
Величина первоначальных напряжений	Категория устойчивости выработки по рейтингам RMR и GSI					Величина напряжений на контуре выработки
Низкое $\sigma_1/\sigma_c < 0,15$	Весьма устойчивая	Устойчивая	Средней устойчивости	Неустойчивая	Весьма неустойчивая	Низкое $\sigma_{\max}/\sigma_c < 0,4$
Среднее $0,15 \leq \sigma_1/\sigma_c < 0,4$	Весьма устойчивая	Устойчивая	Средней устойчивости	Неустойчивая	Весьма неустойчивая	Среднее $0,4 \leq \sigma_{\max}/\sigma_c < 1,00$
Высокое $0,4 \leq \sigma_1/\sigma_c$	Устойчивая	Средней устойчивости	Неустойчивая	Весьма неустойчивая	Весьма неустойчивая	Высокое $1,00 \leq \sigma_{\max}/\sigma_c$
	Категория устойчивости выработки по рейтинге Q-system					
	Весьма устойчивая	Устойчивая	Средней устойчивости	Неустойчивая	Весьма неустойчивая	

Примечание: σ_1 – максимальное сжимающее напряжение в массиве за пределами влияния горных работ; σ_{\max} – максимальное сжимающее напряжение на контуре незакрепленной выработки без учета проведения разгрузочных мероприятий; σ_c – прочность массива на одноосное сжатие.

Механизмы деформирования контуров выработки для скальных и полускальных массивов представлены в таблице 2.2, критерии разрушения пород в выработках при упруго-пластичном и вязко-пластичном механизмах деформирования – в таблице 2.3. В таблице 2.4 [84,99] представлены виды описанных механизмов деформирования.

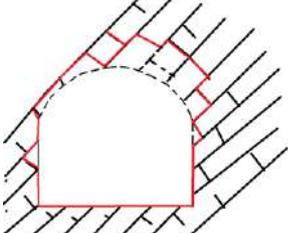
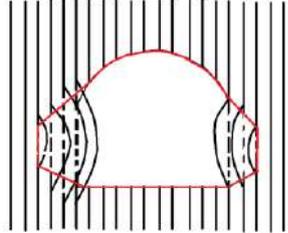
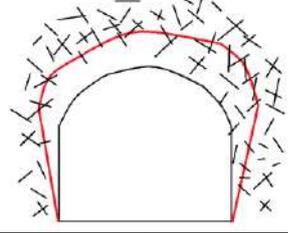
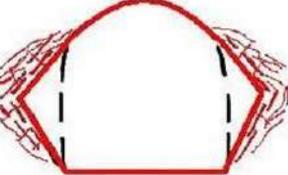
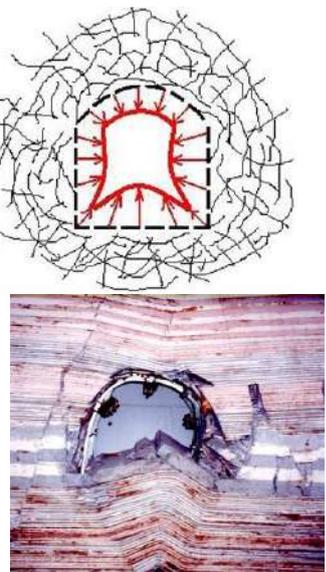
Таблица 2.2. Механизмы деформирования для скальных и полускальных массивов

Механизм деформирования		Описание
1	Формирование клиньев	Нарушения устойчивости, практически не зависящие от величины действующих природных напряжений (вывалы породных блоков в виде клиньев различного объема, образование куполов обрушения при хаотической и интенсивной трещиноватости)
2	Отслоение	Отслоение пород по напластованию и поверхностям ослабления
3	Формирование купола обрушения	Образование куполов обрушения при хаотической трещиноватости
4	Хрупкое разрушение	Хрупкое или близкое к нему разрушение пород в зонах высокой концентрации напряжений на контуре выработок
5	Упруго-пластичное деформирование	Большие деформации выработок по всему контуру выработок под воздействием высокого уровня напряжений, характерные для пород, склонных к пластическим (псевдопластическим) деформациям

Таблица 2.3. Критерии разрушения пород в выработках при упруго-пластичном и вязко-пластичном механизмах деформирования

Категория устойчивости		Критерий отнесения для солесодержащих пород	Критерий отнесения для скальных и полускальных пород
		Смещения	Конвергенция
		U, мм	%
I	Весьма устойчивая	≤ 100	$< 1,0$
II	Устойчивая	$101 \div 200$	$1,0 \div 2,5$
III	Средней устойчивости	$201 \div 300$	$2,5 \div 5,0$
IV	Неустойчивая	$301 \div 500$	$5 \div 10$
V	Весьма неустойчивая	≥ 500	> 10

Таблица 2.4. Вид и характер механизмов разрушения массива в контурах выработок

1		<p>вывалы породных блоков по природным поверхностям ослабления</p>
2		<p>отслоения пород по поверхностям ослабления за счет изгиба слоев</p>
3		<p>образование куполов обрушения при хаотической трещиноватости</p>
4		<p>хрупкое или близкое к нему разрушение пород на контуре выработок в результате концентрации напряжений, в т.ч. стреляния пород</p>
5		<p>большие деформации выработок по части или всему контуру</p>

Таким образом, с точки зрения оптимальности, наиболее востребованными и способными обеспечить устойчивость пород должны рассматриваться следующие типы крепи:

- 1) набрызгбетонная крепь;

2) анкерная крепь в совокупности с различными видами затяжек и подхватов;

3) усиленные металлические крепи типа рамной податливой и других арочных конструкций ферменного типа;

4) комбинация указанных вариантов.

2.3. Принципы совершенствования конструкций крепи с учетом специфических требований

Результаты [156-162] численного моделирования состояния массива вокруг прямоугольно-сводчатой горной выработки шириной 6 м и высотой 6 м, пройденной в условиях гидростатических напряжений, показывают картину зон разрушений вокруг нее (рисунок 2.3).

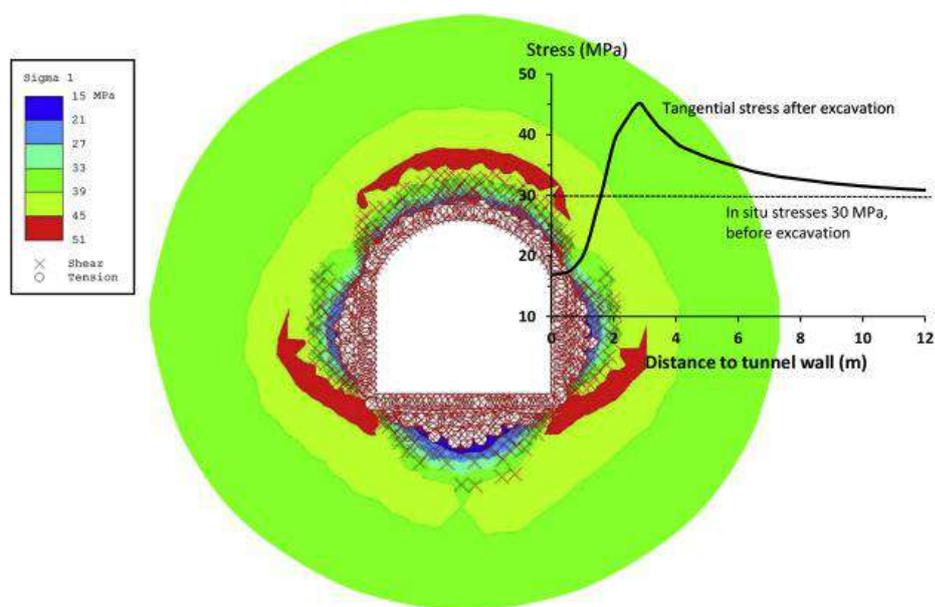


Рисунок. 2.3. Распределение главных напряжений в породе, окружающей тоннель (крестиками и кружками отмечена зона разрушения горных пород)

При моделировании предполагается, что напряжения равны $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3=30$ МПа, а массив породы подчиняется критерию разрушения Мора-Кулона со сцеплением $C=5$ МПа и углом внутреннего трения $\varphi=35^\circ$. Модель составлена в упруго-пластической форме решения задачи.

Непосредственно окружающие выработку породы, примерно на 2 м от контуров, обрушаются. За пределами этой глубины порода все еще в устойчивом

состоянии, но касательные напряжения несколько увеличены, в зависимости от расстояния от контура выработки. Они достигают своего максимума на глубине около 3 м, а затем постепенно снижаются до уровня естественных напряжений (30 МПа) в местах, удаленных от выработки. Участок горной породы, в пределах которого тангенциальное напряжение значительно повышено, воспринимает большую часть давления грунта и образует защитный экран, т. е. свод давления, вокруг выработки.

На основании полученных данных сделан вывод, в соответствии с теорией сводообразования, что горные породы, окружающие выработку, образуют несколько зон: зону обрушения и зону давления (в форме дуги или кольца).

Концепция свода естественного давления (рисунок 2.4) использовалась для проектирования крепи, в частности, Райтом, 1973 г., Крауландом, 1983 г. и Ли (2006).

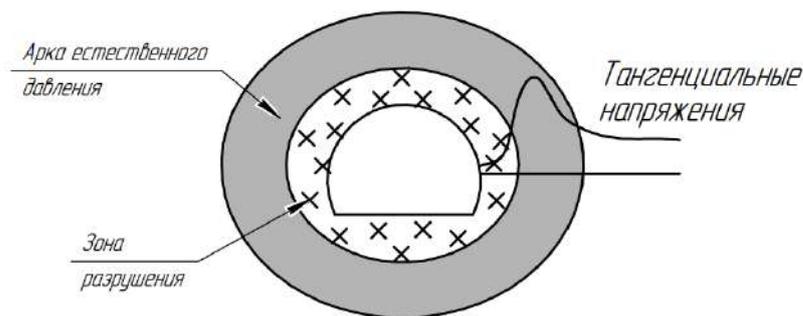


Рисунок. 2.4. Схема расположения зон, характерных по состоянию породы, вокруг выработки.

Горная крепь в целом определяет любые методы и средства, направленные на обеспечение устойчивости породного массива с помощью несущих (опорных) элементов. Данный принцип должен сохраниться в тех случаях, когда напряжения в контурах подготовительных выработок меняют свою величину, становятся близкими к пределу прочности породы, а также имеют динамическую форму проявления деформаций от воздействия сейсмичности взрыва или горного давления.

В качестве несущих конструкций, уже традиционно, принимают анкерные крепи, тросы, сетки, подхваты, затяжки, металлические рамы, набрызгбетон (или торкретбетон), набрызгбетонные арки или литая железобетонная конструкция, тубинговая крепь и т.п.

Система крепления должна выполнять три основные функции:

- 1) поддержание;
- 2) удержание;
- 3) упрочнение (армирование).

То есть, соответственно, подпор и удержание в замкнутом пространстве обнаженных поверхностей горных пород и налегающей толщи; удержание от падения потенциально ослабленных блоков и укрепление самого массива горной породы. Каждый элемент конструкции крепи выработки может выполнять одну или несколько из трех основных функций.

Поддержание обнаженной поверхности в основном достигается за счет применения набрызгбетона, сетки или других типов подхватов, металлических рам, устанавливаемых на поверхности горных пород в выработке. Требования к допустимым деформациям горных пород в гражданском подземном строительстве (тоннели, метро) допускают значительно меньшие их величины, чем в шахтах. Поэтому для обеспечения устойчивости кровли, боков, иногда и почвы выработок применяются тяжелые внешние опорные конструкции, такие как стальные рамы, арки, бетонные кольца, чугунные тубинги и т. п. Эти конструкции устанавливаются в выработке и контактируют непосредственно с породой в рабочем пространстве.

Вплоть до 2000 г. набрызгбетон классифицировался как ограждающий, предохранительный тип крепи, а не как несущий. Опыт применения, материалы и технологии нанесения слоя набрызгбетона сейчас позволяют уверенно утверждать, что данный способ крепления является, в том числе, эффективным средством крепления горных выработок. Данное замечание важно для оценки необходимости комбинирования набрызгбетона с другими видами крепления.

Существуют специфические особенности процесса возведения набрызгбетонна, влияющие на несущую способность и функциональность крепи, которые необходимо учитывать:

- набрызгбетон должен наноситься перпендикулярно поверхности горной породы с высокой скоростью от 20 до 100 м/с в зависимости от метода нанесения и применяемого оборудования;

- отскок главным образом состоит из крупных частиц. Самый большой отскок наблюдается при нанесении первых порций смеси на участок поверхности. В последующей стадии набрызга, когда полумягкий бетон покрывает поверхность, отскок снижается. В результате больше мелкого заполнителя попадает прямо на поверхность породы;

- нанесенный бетон сразу же прессуется последующими слоями;
- прилипающий слой набрызгбетона имеет сцепление с породой до 3 МПа;
- поверхность горной породы полностью изолируется;
- мелкие компоненты набрызгбетона попадают и глубоко проникают в пустоты и трещины. В результате образуется упрочненный поверхностный слой породы.

Ключевыми особенностями набрызгбетона как крепи являются:

- стойкость к динамическим воздействиям (подвижный блок может упасть только в результате среза слоя набрызгбетона);

- арочный эффект в действительности работает только локально;

- изолирующий эффект предохраняет породу от выветривания и отрицательного воздействия атмосферы;

- быстрота нанесения набрызгбетона способствует сохранению естественных свойств породы.

Очевидно, что действие набрызгбетонного слоя малой толщины больше похоже на упрочнение горной породы, чем на поддержание и удержание массива вокруг выработки. На поверхности породы происходит сложный процесс взаимодействия между поверхностным породным слоем и твердеющим бетоном. Как показывает практический опыт, даже слой набрызгбетона толщиной в 30 мм в некоторых случаях очень эффективен.

В 70-е годы и в начале 80-х прошлого века было проведено множество экспериментов на моделях относительно работы набрызгбетона в скальных

трещиноватых породах. Представление всех этих результатов – за рамками настоящих исследований. Однако в результате проведенного анализа в качестве примеров можно привести некоторые из полученных результатов.

В Швеции Доктор Джонас Холмгрен использовал экспериментальный стенд, в котором слой набрызгбетона являлся плоским (без арочного свода). При различной толщине слоя фиксировалась нагрузка и деформации до его разрушения (рисунок 2.5). Холмгрен смог точно указать на некоторые факты.

При толщине слоя до 30 мм подвижный блок просто пробивал слой набрызгбетона. Это неудивительно, принимая во внимание тот факт, что нагрузка на набрызгбетон полностью связана с прочностью слоя на срез.

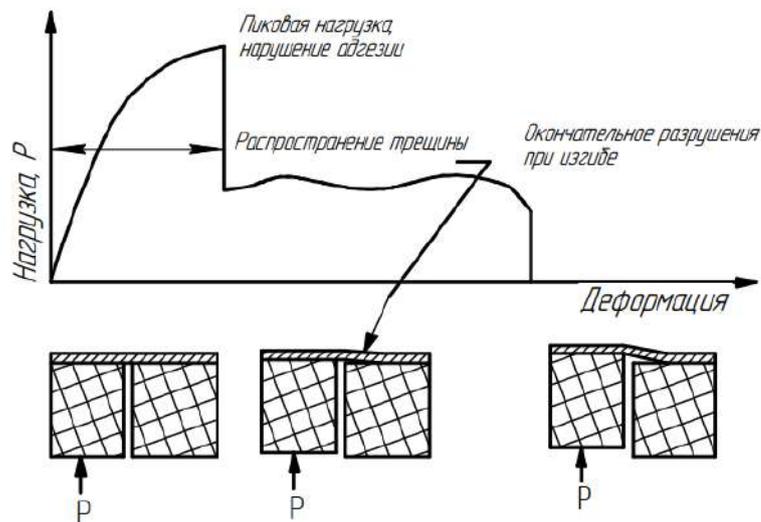


Рисунок 2.5. Результаты нагружения слоя набрызгбетона

Набрызгбетон со слоями, толщиной более 30 мм (часто независимо от толщины), показал, что величина сцепления (адгезия) являлась решающей.

Результат экспериментов позволяет вычислить максимальную нагрузку (теоретический объем блока, который может быть удержан) за счет сцепления. Блок более 9 м³ с весом в 25 тонн может удерживаться слоем набрызгбетона толщиной 30-40 мм.

Во многих случаях невозможно предусмотреть и точно оценить все одиночные блоки и породные отдельности, закрепленные тонким слоем набрызгбетона. Когда проходка выполняется в раздробленных слабых породах, опыт показывает, что даже тонкие слои набрызгбетона дают временный

упрочняющий эффект. В таких ситуациях теории блоков и клиньев как механизмов крепления не применимы. Немного сложнее проиллюстрировать, как и почему происходит упрочнение породы в таких условиях.

Самая очевидная причина – это краткосрочный эффект в непосредственном сохранении свойств породного массива [28, 98]. Набрызгбетон является чем-то вроде оболочки на поверхности горной породы, предотвращающей или замедляющей ее первоначальные деформации внутрь выработки. Смещение породы внутрь выработки (конвергенция) в целом происходит равномерно, без локальных ступенчатых деформаций. По мере движения породы внутрь длина контура уменьшается, что увеличивает сжатие и трение между несвязанными частями породы. Таким образом, набрызгбетон помогает горной породе себя же поддерживать. И в данном случае имеет место эффект упрочнения породы, а не поддержание груза. Для обеспечения данных условий работы набрызгбетон должен обладать подходящей прочностью на сжатие и хорошим сцеплением с поверхностью породы.

Если отношение между давлением породы и ее прочностью не компенсируется тонким слоем набрызгбетона, то для ее поддержания может понадобиться дополнительный армированный слой набрызгбетона. Пример тоннеля пройденного тоннелепроходческим комплексом с полной круговой обделкой набрызгбетона показан на рисунке 2.6. В этом случае эффект арки может быть учтен, а величина сцепления не имеет большого значения.

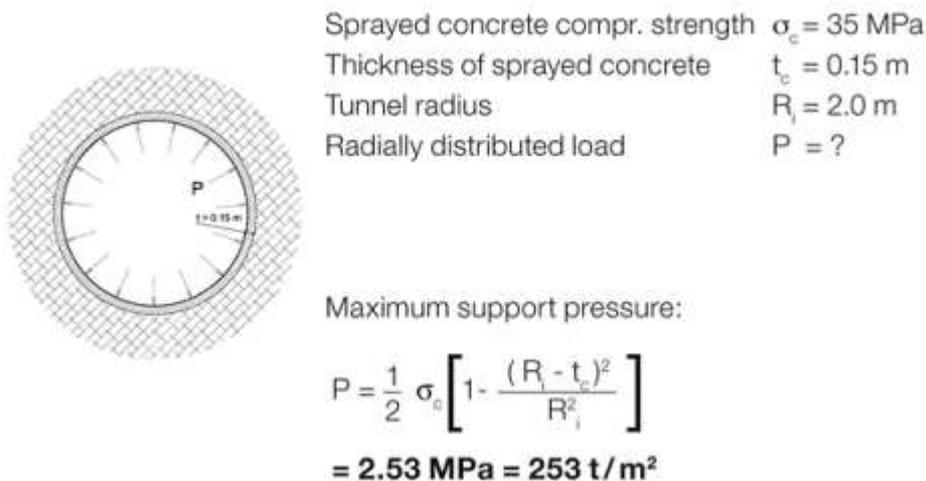


Рисунок 2.6. Параметры закрепленного набрызгбетонном тоннеля

Крепление породы вокруг выработок обычно осуществляется за счет систематической установки анкерных стержней. Прочность породы увеличить посредством анкерного крепления весьма ограничено. Важнейшая функция анкерного крепления состоит в том, чтобы удерживать трещиноватую породу вместе, чтобы сформировать несущий свод вокруг выработанного пространства. Другими словами, анкеры помогают массиву укрепиться и поддерживать себя. Анкеры также обеспечивают удерживающую функцию для ослабленных блоков и трещиноватых пород. В случае большой зоны разрушения анкеры могут быть полностью расположены в зоне разрушения. Таким образом существуют две теории обеспечения устойчивости с помощью анкерной крепи:

Расчетная схема I – порода, расположенная в пределах свода равновесия прикрепляется к устойчивой зоне.

Расчетная схема II – анкеры сшивают различные зоны, слои или структурные элементы породного массива вокруг выработки, формируя упрочненную зону в виде плиты, свода, арки или кольца, способную воспринять горное давление.

Эффективным для удерживающей функции является использование длинных тросовых анкеров.

Крепление поверхности породного массива вокруг выработки в основном достигается за счет комбинации различных несущих элементов крепи [159-163]. Система горной крепи может состоять из одного или нескольких опорных уровней, в зависимости от условий нагрузки и степени разрушения породы:

Уровень 1 – крепление анкерами (установка анкеров локально или систематически).

Уровень 2 – удержание поверхности (удерживающие элементы, такие как сетки, ленты, различные полосовые подхваты и т. п.).

Уровень 3 – крепление тросами (одно- или многожильные тросы устанавливаются в шпурах (скважинах) на глубину, превышающую зону обрушения).

Уровень 4 – поддержание поверхности за счет конструкций, устанавливаемых в выработке (металлическая и монолитная бетонная крепь).

В неглубоких туннелях или в случае небольшой зоны обрушения задача горной крепи состоит в обеспечении устойчивости разрыхленных или обрушившихся скальных блоков. Крепь уровня 1, т. е. локальная установка анкеров, может быть достаточной для обеспечения устойчивости массива (рисунок 2.7 а). Анкеры должны быть связаны с сводом естественного равновесия за зоной разрушения. В неустойчивых породах зона разрушения может быть настолько обширной, что анкера не могут достичь свода естественного состояния. Тогда необходима система поддержки, состоящая из уровней 1 и 2 (рисунок 2.7 б). Уровень 1 в этом случае должен представлять собой плотно расположенную систему установленной анкерной крепи, создающую искусственный несущий свод в зоне разрушения. Искусственный упрочненный свод образует защитный экран над выработанным пространством.

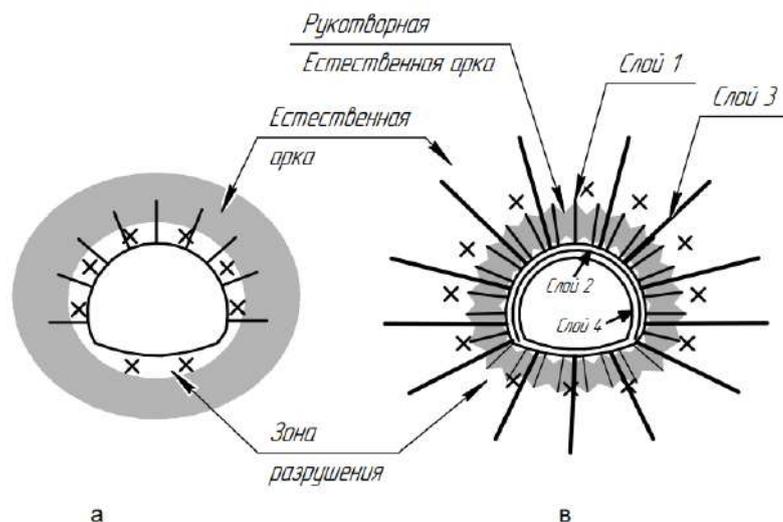


Рисунок 2.7. Принципы закрепления пород в контурах выработки для условий: (а) в пределах габаритов выработки зон разрушения и (б) – для зоны разрушения на удалении более габаритов выработки

В чрезвычайно неустойчивых породах необходимо добавлять в систему крепи уровень 3. Данная система крепления часто используется в подземных выработках, например, в подземных машинных залах гидроэлектростанций, депо метро и т. п. Эта система крепления отличается своей гибкостью, позволяющей адаптироваться к преобладающим условиям горных пород. В гражданских туннелях повышенной ответственности для обеспечения удерживающей функции

крепи в систему добавляются внешние опорные конструкции (уровень 4), такие как стальные рамные крепи и бетонные облицовки.

С целью упрочнения горных пород на австралийских шахтах разработана методология, заключающаяся в укреплении зоны разрушения породы с помощью плотно расположенных гибких анкерных штанг «разъемных наборов» или точечных инъекционных анкеров длиной 2,4-3 м. Затем упрочненная зона связывается тросами с устойчивым слоем массива за зоной разрушения (рисунок 2.8). Плотно расположенные анкеры помогают трещиноватой породе создать искусственную несущую арку, а тросовые анкеры объединяют образованный несущий слой с глубоко расположенной устойчивой частью массива за зоной сдвижения. Поверхность массива удерживается сеткой, полосовыми подхватами и набрызгбетонном. Рудник Агнью находится в Западной Австралии. Вывалы являются основной проблемой обеспечения устойчивости в руднике ниже глубины 500 м из-за слабых пород, ультраосновных конгломератов, хлорита и талька. Конвергенция стенка-стенка после проходки выработки 5×5 м за 5 месяцев достигла 400 мм. Анкеры уровня 1 имели длину 2,4-3 м и шагом 1 м. Уровень 2 – сетчатая затяжка, уровень 3 - двухжильные тросовые анкеры длиной 6 м и расстоянием между ними 2 м.

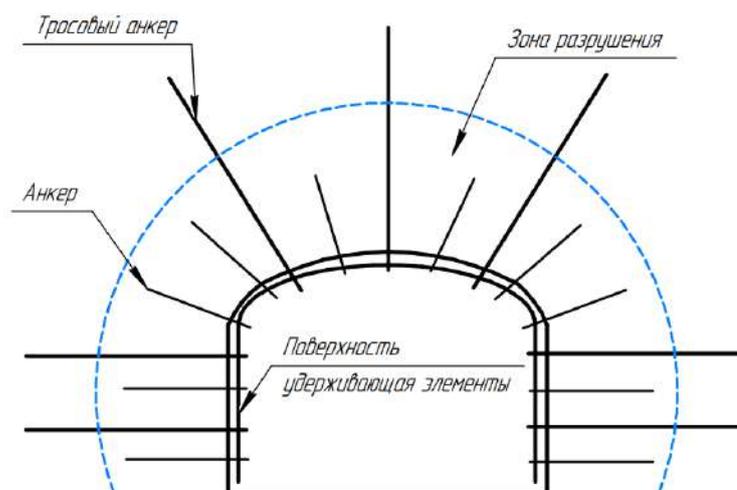


Рисунок. 2.8. Австралийская методика анкерной крепи в глубоких металлических шахтах

В горных породах, склонных к динамическим проявлениям – горным ударам, система крепления должна включать энергопоглощающие элементы. Например, на том же руднике анкеры в совокупности с сеткой или набрызгбетоном, армированным волокнами (фиброй) способна обеспечить динамическое воздействие со скоростью выброса 5 м/с и поглощать динамическую энергию 35 кДж/м.

Методология крепления в Канаде и скандинавских странах заключается в объединении разрушенной породы с помощью коротких анкеров в сочетании с сетками и/или набрызг-бетоном, армированным фиброй (рисунок 2.9).

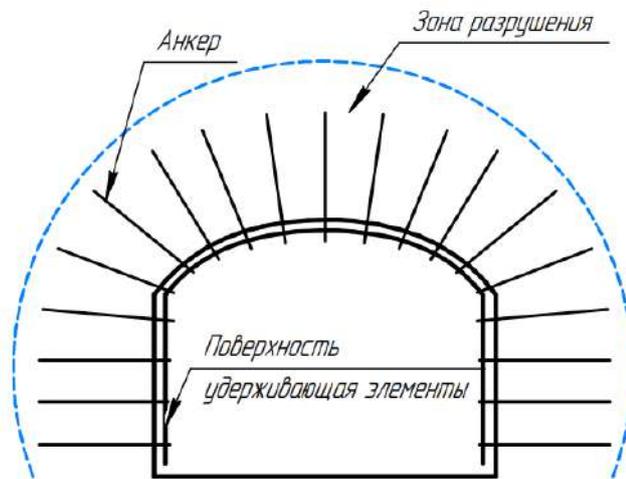


Рисунок 2.9. Канадская и скандинавская методология анкерной крепи в глубоких металлических шахтах

На канадских рудниках типы анкерных болтов представляют собой арматурные стержни длиной 2,4 м или 2,1 м, полностью покрытые антикоррозионной защитой. Энергопоглощающие анкеры добавляются в случае сейсмических горных условий. Рудник Крейг в районе Садбери, Онтарио, характеризуется наличием разломов, проходящих через рудное тело, что создает ряд сдвиговых сейсмических событий в районах добычи на глубине ниже 1600 м. В проходах пролетом 5 м применялись стале-полимерные анкерные стержни длиной 1,8-2,4 м вместе с поверхностно-удерживающими опорными элементами (сетки, ленты, и т. д.). В местах, подверженных выбросу, установлены арматурные и тросовые анкеры длиной до 6 м.

В шведских рудниках чаще всего используются полностью герметизированные арматурные стержни, закрепляющиеся цементным раствором. Поверхностные удерживающие элементы обычно выполняются из набрызгбетона, армированного стальными фибрами, но в условиях, подверженных горным ударам, поверх набрызгбетона, укладывают проволочные сетки. Длина анкеров обычно составляет 2,7-3 м, а расстояние между ними – 1-1,5 м. Рудник Кристинеберг в Швеции в настоящее время ведет добычу на глубине менее 1000 м. Выработки подвергаются продавливанию пород в цинково-свинцовых рудных телах за счет пород, богатых хлоритом/талком, а также деформационному разрыву в твердых кварцитах золоторудных тел. Анкеры, использованные на руднике, представляли собой арматурные стержни длиной 2,7 м, полностью залитые цементным раствором, со схемой крепления анкеров 1,2×1,2 м.

В глубоких шахтах Южной Африки, подверженных динамическим проявлениям горного давления, методология установки анкеров заключается в рассеивании высвобождаемой кинетической энергии с помощью энергопоглощающих элементов и поверхностных удерживающих элементов. Считается, что кинетическая энергия в случае горного удара частично поглощается анкерами и частично рассеивается за счет смещений породы, поглощаемых поверхностными удерживающими элементами: сетки и полосовые подхваты часто используются в южноафриканских системах динамической крепи.

В Южной Африке используют гибкие и энергопоглощающие анкеры (Durabar и конусные анкеры). Первичный метод крепления представляет собой кольцо из болтов длиной 1,2 м, а вторичный метод крепления – кольцо из болтов длиной 2,4 м, а также затяжку, сетку и торкретбетон с добавлением стальной или полимерной фибры. Схема крепления обычно составляет 1 × 1 м. Золотой рудник Мпоненг в Южной Африке ведет добычу на глубине менее 2500 м. Преобладающей породой является кварцит, склонный к ударам при высоком давлении. Анкеры – это только один из множества элементов крепи, используемых в шахте. Комплекты длиной 1,2 м используются в очистных забоях, а длиной 2,4-3,6 м – в транспортных проходках (рисунок 2.10).

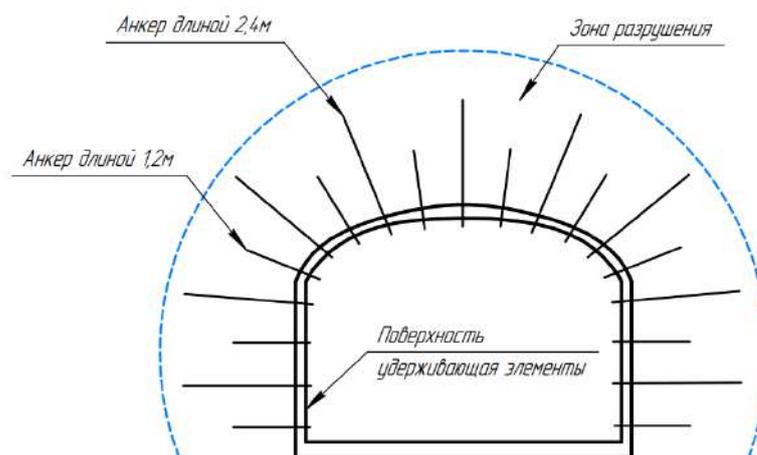


Рисунок. 2.10. Южноафриканская методология установки анкерных болтов в глубоких шахтах

В результате проведенного анализа по конструкциям и параметрам крепи в различных горногеологических условиях на зарубежных рудниках, метод проектирования – порядок выбора конструкции и обоснования параметров целесообразно осуществлять в следующей последовательности:

1. Сбор геологических данных, данных о механике горных пород с обработкой этого материала в сочетании с параметрами выработки и т. д. Обработка означает прогнозирование нагрузок и деформаций для ряда случаев качества горной породы, включая размеры выработки и ее расположение в массиве. Любой способ расчетов может быть использован при прогнозировании.

2. Выбор предварительного способа крепления. Толщина набрызгбетона, количество, длина и несущая способность анкеров, вид и шаг арочного крепления и т. д. – все это является частью предварительного выбора. Прогноз скорости развития деформаций и их величин для разных ситуаций – важная информация в определении последовательности и скорости проходки выработки и установки крепи.

3. Проходка выработки в соответствии с предварительно выбранным способом крепления. В процессе вносятся необходимые корректировки, соответствующие новым свойствам пород (изменяющимся в результате техногенного воздействия).

4. Проведение соответствующего мониторинга с использованием необходимой контрольно-измерительной аппаратуры, которая может включать экстензометры, реперы для измерения конвергенции, датчики нагрузки в обделке, датчики нагрузки в анкерах и др. Все изменения фиксируются и учитываются в последующих расчетах.

5. Решение о параметрах крепи окончательно принимается после наблюдения за выработкой в течение достаточного времени. Благодаря этому, в зависимости от требований проекта в некоторых случаях можно ограничиться имеющимся креплением (как правило, временной крепью), а в некоторых случаях в полном объеме выполнить усиление (возведение постоянной крепи).

Таким образом, во всех рассмотренных примерах основные несущие элементы – анкер, подхват, торкретбетон. Конструкции анкеров могут меняться в зависимости от условий, соответственно и меняется тип их расположения (в борта на малой глубине или глубокого заложения, опережающее крепление, стягивание и т. п.).

2.4. Факторы обеспечения устойчивости подземных горных выработок

Образование полостей в массиве горных пород ведет к изменению НДС. При достаточно высоких напряжениях и/или в случае если горная порода достаточно слабая, окружающие выработку породы будут медленно перемещаться в выработанное пространство (в дополнение к небольшому эффекту релаксации). Эта радиальная деформация (конвергенция) может контролироваться и прекращаться посредством крепления породы или она может продолжаться до тех пор, пока не произойдет обрушение породы (рисунок 2.11).

Также на рисунке показаны эпюры радиальных (σ_r) и тангенциальных (σ_t) напряжений до выемки породы. Порода рассматривается как упругая среда.

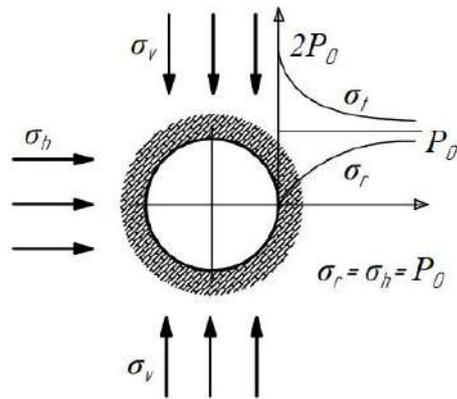


Рисунок 2.11. Схема действующих напряжений вокруг выработки круглого сечения до выемки породы

В короткое время после выемки породы ситуация с напряжениями в массиве меняется, и, если порода достаточно слабая, зона пластических деформаций резко увеличивается, как показано на рисунке 2.12. Радиальные деформации в результате возрастают, увеличивая сжимающие напряжения в окружающем породном массиве. При использовании какого-либо крепления, появляются определенные реакции и напряжения в элементах крепи.

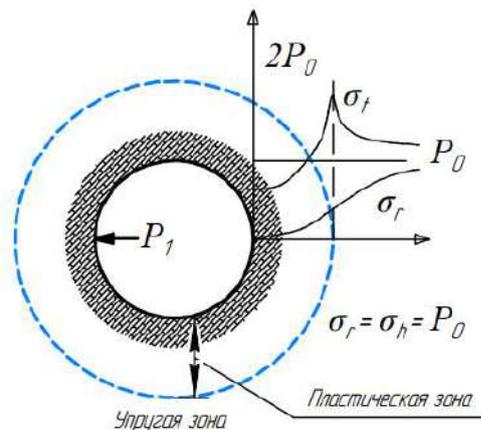


Рисунок 2.12. Схема действующих напряжений вокруг выработки круглого сечения после выемки породы

Величина деформаций и размеры пластической зоны зависят от внутреннего трения и других прочностных параметров горной породы. Величины напряжений в массиве также играют важную роль.

При проектировании крепления горных выработок необходимо ограничивать деформации массива, и в этой связи построение графиков реакции массива и

крепления могут быть информативны. Пример графика реакции массива пород показан на рисунке 2.13. Это – идеализированная кривая зависимости нагрузки и деформации, описывающая радиальную деформацию в зависимости от давления на крепь. Кривая реакции грунта выражает в данном случае необходимое усилие в крепи для балансирования нагрузки и прекращения дальнейшей деформации. Линия номер 3 на рисунке 2.13 показывает случай, когда напряжения в породе близки или превышают предельные и развивается пластическая зона деформации.

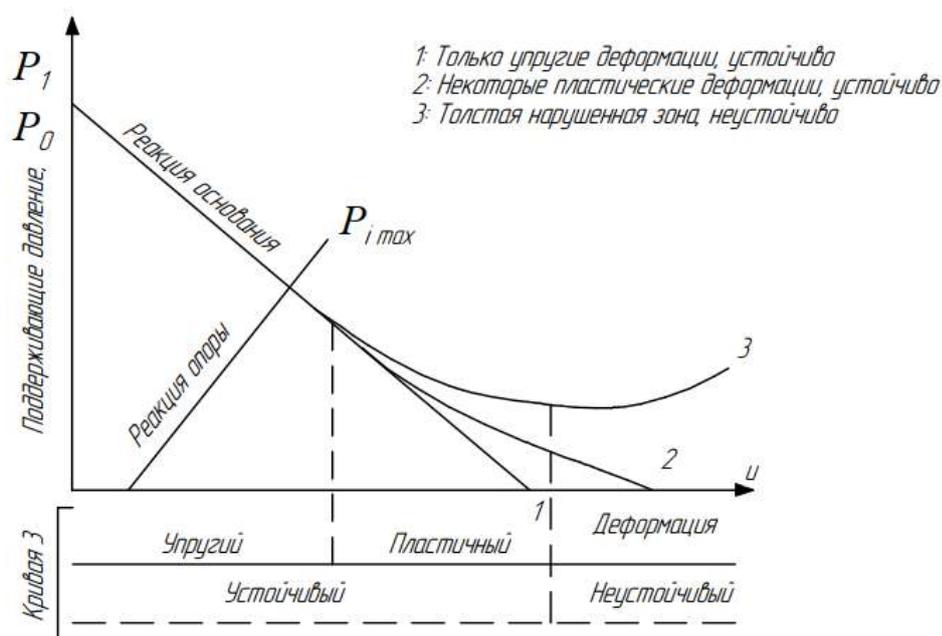


Рисунок 2.13. График зависимости напряжений и деформаций в массиве

В упругой зоне нагрузка уменьшается, если деформация допускается. В условиях низких напряжений прямая упругая линия могла бы продолжиться до нуля, как показано прерывистой линией номер 1. В этой ситуации нет необходимости в креплении.

При более высоких напряжениях небольшая пластическая зона развивается, как показано прерывистой линией номер 2. Если напряжения высокие, то имеет место реакция породы, показанная непрерывной линией номер 3. Причиной увеличения нагрузки является развитие зоны пластических деформаций и увеличения размеров и веса зоны нарушенных пород. Это относится, прежде всего, к своду тоннеля.

Уровень и параметры крепи будут изменяться по мере деформации породы в соответствии с кривой реакции породы. Рисунок 2.14 показывает некоторые свойства крепи, характеризующие принципы ее работы. Сильное и жесткое крепление может быть перегружено, тогда как достаточно более слабой и податливой крепи. Жесткое крепление тоже может действовать эффективно, если оно устанавливается на более позднем этапе. На рисунке 2.14 показано, что крепь установлена после того, как начальные деформации уже произошли. Также указаны максимальная нагрузка и величины деформации крепления. Точка пересечения между кривыми реакций породы и крепления определяет конечную нагрузку на крепь и общую деформацию массива пород.

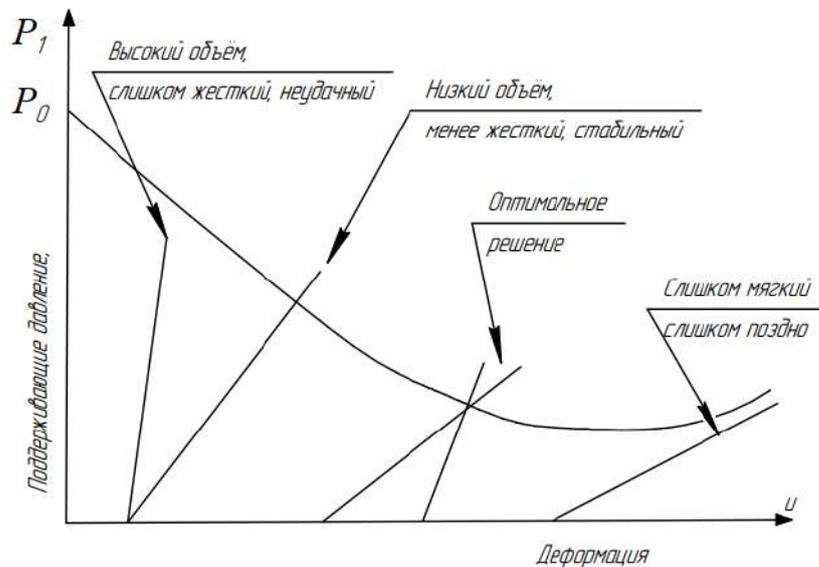


Рисунок 2.14. Диаграмма прочности крепи

Диаграмма демонстрирует комбинированный эффект от взаимодействия самой породы и установленного крепления. Важно, чтобы крепление устанавливалось в надлежащее время и имело точно определенную жесткость.

Очень важным элементом является замыкание крепи по всему контуру выработки. Завершенное анкеро-набрызгбетонное кольцо намного более жесткое, чем аналогичная конструкция подковообразной формы. Несущая способность кольца тоже больше. Это относится ко всем видам арочной крепи. Очень важен расчет времени замыкания такого кольца относительно скорости и величины деформации.

Таким образом, принцип выбора конструкции и обоснование параметров крепи должен учитывать период ее возведения (установки) после обнажения массива, при этом необходимо позволить горной породе максимально реализовать свои собственные ресурсы несущей способности.

Приоритетным при выборе вида и определении параметров крепи является учет возможности сохранять устойчивость массива, его горно-геологические характеристики, и в меньшей степени акцентируя на передаче нагрузки на крепь. Традиционный метод подразумевает обратный порядок – исходя из теории свода определяем нагрузку от пород в пределах свода и под эту нагрузку осуществляется выбор конструкции исходя из ее грузонесущих свойств.

Необходимо учитывать фактор времени, в период влияния которого порода изменяет свои свойства и НДС.

Как упоминалось в разделе 2.2 настоящей диссертации, характер разрушения (потеря устойчивости) приконтурного массива горных пород различен. В трещиноватом массиве ослабленные блоки имеют тенденцию падать под действием силы тяжести. Нагрузка, действующая на анкеры, равна силе собственного веса падающих блоков.

В этом случае для надежной работы крепи требуется, чтобы нагрузка на анкер была меньше прочности анкера. Требуется, чтобы коэффициент запаса прочности в конструкции анкерной крепи находился в пределах 1,5–3.

Деформация горных пород может быть значительно больше в выработках, пройденных в сильно напряженных мягких и слабых породах. Существенной движущей силой деформации горных пород является энергия деформации, высвобождаемая из массива горных пород после выемки. Большая часть высвобождаемой энергии рассеивается при трещинообразовании, что, в свою очередь, вызывает деформацию горных пород. В породах низкого качества деформация горных пород может привести к обрушению горных пород в выработку. Состояние массива пород после выемки горной выработки описывается графиком прочности (рисунок 2.15). Податливая крепь работает лучше, чем жесткие конструкции при условии сжатия горных пород. Податливая крепь

деформируется вместе с породой до тех пор, пока массив не станет стабильным после определенного смещения. Штриховая линия на рисунке 2.15 представляет собой НДС массива горных пород после упрочнения анкерными штангами. В условиях постоянного давления горных пород невозможно найти постоянную нагрузку на крепь, так как напряжения и деформации взаимосвязаны.

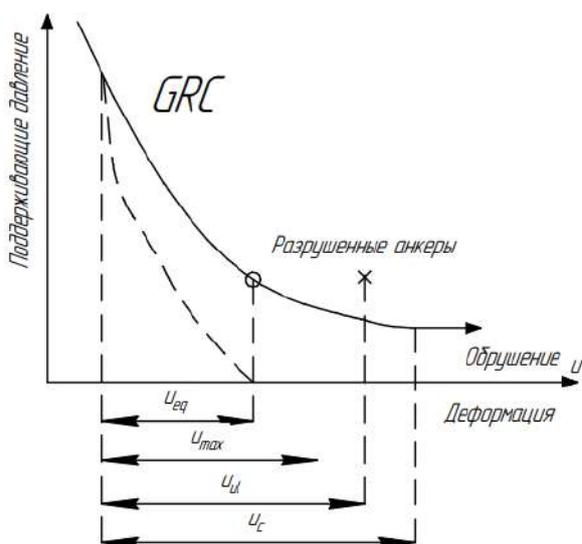


Рисунок 2.15. График зависимости прочности и деформации массива и кривая характеристики прочности анкерных болтов

С точки зрения обеспечения устойчивости необходимо учитывать оба критерия [156-158]: напряжения пород и деформацию.

Следует отметить, что критическое перемещение U_c трудно определить количественно даже с помощью численного моделирования. За пределами смещения U_c горная масса становится неустойчивой, и итерации расчета становятся не сходящимися при численном моделировании. В инженерной практике обычно существует максимально допустимое перемещение с точки зрения эксплуатации. В дополнение к факторам безопасности для устойчивости и работы также требуется, чтобы смещение породы в состоянии равновесия U_{eq} было меньше предельного смещения U_{ult} анкера, чтобы избежать преждевременного разрушения анкера (рисунок 2.16).

В сильно напряженных массивах горных пород часть энергии деформации, хранящейся в массиве горных пород, может внезапно высвободиться, что

приводит к выбросам горных пород. Использование энергопоглощающих анкеров является одним из наиболее эффективных способов поддержки удароопасных массивов горных пород. Принцип обеспечения устойчивости в данном случае заключается в том, что способность поглощения энергии крепи должна быть выше, чем кинетическая энергия выброшенной породы.

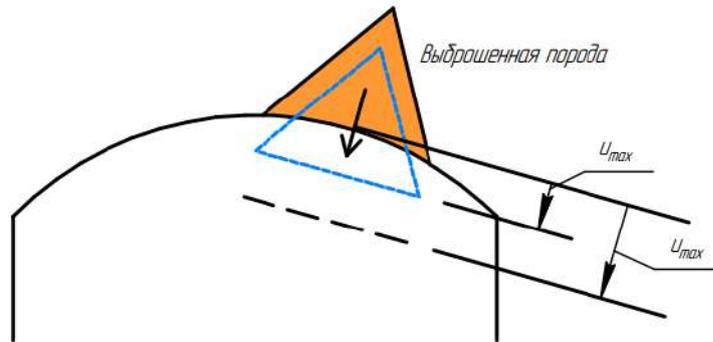


Рисунок 2.16. Равновесное смещение U_{eq} и максимально допустимое смещение U_{max} , связанные с горным ударом

Современная практика горного крепления заключается в установке на твердеющих составах жестких анкерных штанг в породе и применении набрызгбетона или монолитной бетонной облицовки на поверхности выработки. Элементы податливости могут входить в конструкцию крепи в условиях смещений породы. Конструкции горной крепи состоят из жестких внутренних элементов (полностью зафиксированные стержни арматуры) и гибких внешних элементов (металлические податливые рамы, бетонная крепь с компенсацией деформации). Принцип работы таких конструкций можно представить схематически [156] (рисунок 2.17 а). В такой опорной системе жесткие внутренние элементы (анкеры) могут выйти из строя после небольшой деформации, но внешние элементы (рамная крепь) могут выдерживать относительно большую деформацию породы из-за встроенных элементов податливости. Таким образом, внутренние и внешние элементы системы крепи несовместимы по деформации. В подземных горных работах обычно используются анкерные болты и сетки, чтобы справиться с чрезмерной деформацией горных пород. Опорная нагрузка в основном ложится на

анкеры, в то время как сетка ограничивает расширение поверхности скалы. На рисунке (рисунок 2.17 б) показана схема системы крепления этого типа. В такой опорной системе внутренние элементы (анкеры) и внешние элементы (сетки) совместимы по деформации, но несущая способность сеток очень низкая.

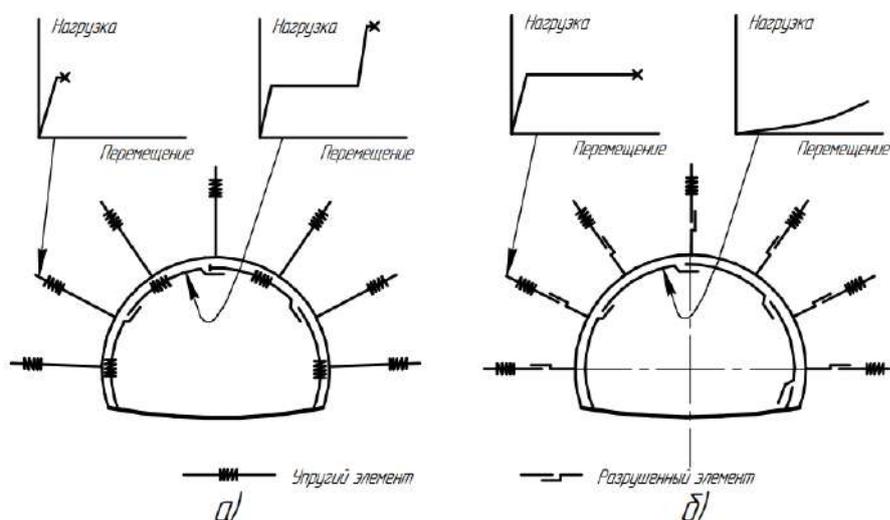


Рисунок 2.17. Схемы работы конструкций горной крепи: (а) не совместимых по деформациям и (б) не совместимых по несущей способности

Обеспечить максимальный эффект поддержания, удержания и упрочнения, с использованием крепи допустимо при достижении равенства как прочности, так и деформируемости как внутренних, так и внешних элементов крепи. Другими словами, они должны быть совместимы как по несущей способности, так и по способности деформироваться. Поведение внутренних и внешних опорных элементов в такой системе показано на рисунке 2.18.

Таким образом, в зависимости от условий потери устойчивости, в случае правильного прогноза можно выбрать необходимые параметры крепи по фактору несущей способности и податливости.

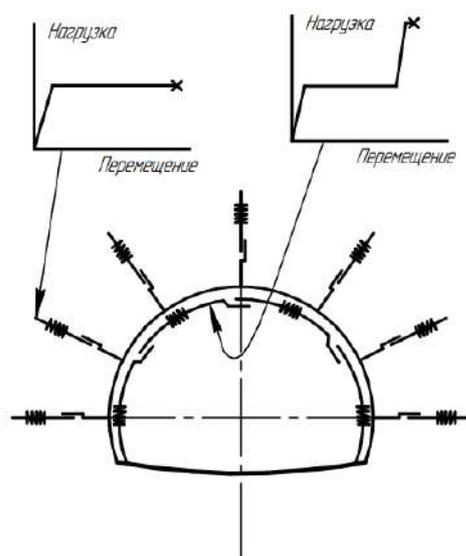


Рисунок 2.18. Схема совместимой системы горной крепи

Рассмотрим основные факторы, влияющие на необходимую нагрузочную способность анкерной крепи.

Пример нависающего структурного блока массива, образованного пересечением тремя плоскостями трещин. Тетраэдрический клиновидный блок образован тремя плоскостями разрушения и поверхностью массива, как показано на рисунке 2.19. Образованная отдельность стремится упасть под действием силы тяжести. Горизонтальное поле напряжений массива в данном случае будет положительным с точки зрения удержания данной отдельности. Вероятность вывала в данном случае будет зависеть от коэффициента трения по плоскостям разрушения (трещин) и массы отдельности. На схеме рисунка 2.20 рассматривается простой случай чтобы оценить влияние размера блока на критический угол, при котором произойдет падение за счет силы тяжести. Нагрузками на клиновидный блок являются касательное напряжение горной породы σ_θ , сила веса блока и сопротивление трению по бокам образованной отдельности. Блок имеет тенденцию падать под действием силы тяжести, но трение по бокам препятствует падению. Условие устойчивости блока состоит в том, чтобы сопротивление трения на плоскостях разрыва было выше, чем направленная вниз сила сдвига.

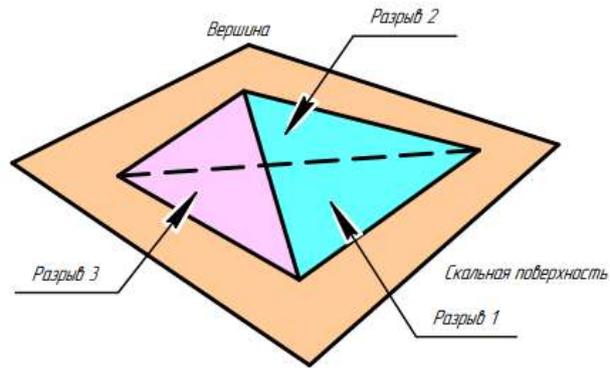


Рисунок. 2.19. Элементарная отдельность массива (блок), ограниченная тремя плоскими геологическими разрывами и горизонтальной плоскостью обнажения

С учетом всех сил, действующих на две плоскости разрыва, условие устойчивости блока будет реализовываться по схеме, представленной на рисунке 2.20.

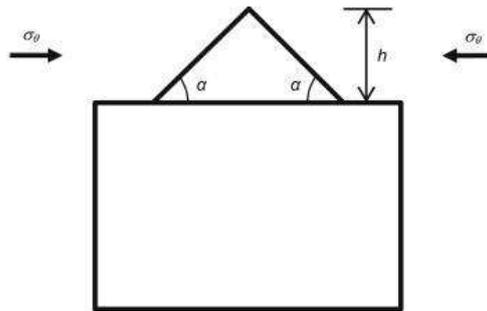


Рисунок 2.20. Структурный блок в виде клина в кровле выработки: σ_{θ} – касательные напряжения, h — высота блока, α — угол падения трещин

Критический угол наклона увеличивается с уменьшением тангенциального напряжения в горной породе, а это означает, что только круто наклонные клиновидные блоки могут быть устойчивы за счет трения по плоскостям трещин в условиях низкого напряжения. Критический угол наклона изменяется скачком при небольшом изменении касательного напряжения породы ниже 1 МПа, но малочувствителен к напряжению породы выше 2 МПа. Как показано тремя кривыми, соответствующими разным высотам блоков, критический угол наклона также увеличивается с размером блока, особенно когда касательное напряжение породы ниже 1 МПа. Критический угол наклона немного увеличивается с размером блока, когда напряжение горной породы превышает 2 МПа.

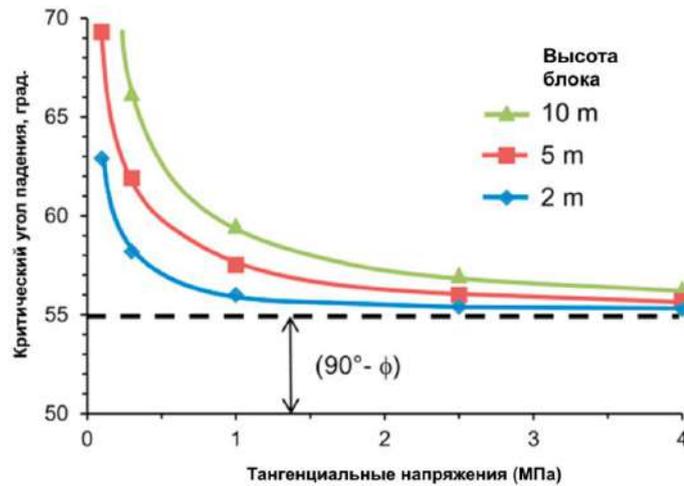


Рисунок 2.21. Зависимость критического угла наклона от касательных напряжений в породе для структурных блоков различной высоты

Принцип поддержания клинового блока в борту показан на рисунке 2.22.

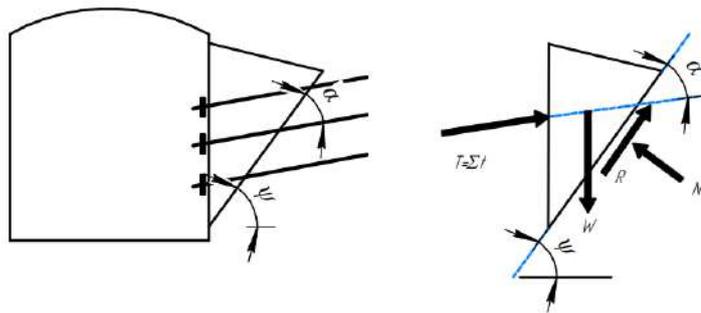


Рисунок 2.22. Принцип удержания борта выработки: а – схема расположения анкеров в выработке; б – схема распределения сил на удерживаемом блоке

Все силы уравновешены во всех направлениях в критическом состоянии, при котором происходит разрушение при сдвиге вдоль плоскости скольжения.

Нагрузочная способность анкеров T способствует увеличению нормальной силы и составляющей поперечной силы. Увеличение нормальной силы всегда положительно при увеличении сопротивления трения плоскости скольжения, но влияния силы T на сдвига либо положителен, либо отрицателен, в зависимости от угла установки α . В условиях состояния равновесия, когда разрушение при сдвиге инициируется вдоль плоскости скольжения нагрузочная способность, необходимая для уравнивания других сил на структурном блоке в этот момент,

минимальна. Другими словами, эффект укрепления анкерными стержнями оптимален, когда они установлены под углом $\alpha = \phi_a$.

Теория свода естественного равновесия хорошо объясняется через схему взаимодействия двух блоков, как показано на рисунке 2.23. Движение вниз двух блоков в зоне опоры (в боках выработки) исключено. Под действием силы тяжести блоки стремятся обрушиться вниз по плоскости раздела, в результате они прижимаются друг к другу в верхней части средней плоскости излома и в нижних частях у опоры. Таким образом, внутри двух блоков образуется дуга давления, и блоки стабилизируются. Данный механизм хорошо описывает схему взаимодействия трех и более блоков, один из которых будет несущим, при извлечении его конструкция теряет устойчивость.

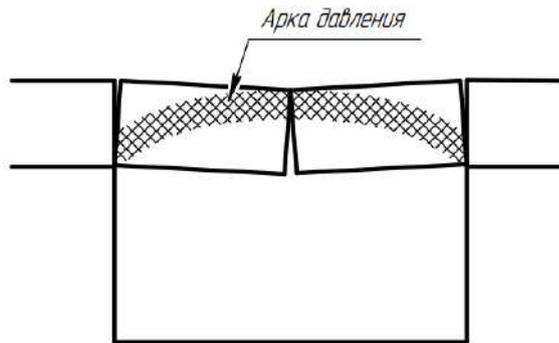


Рисунок 2.23. Прижимная арка, образованная двумя блоками кровли

Свод естественного равновесия располагается далеко от кровли подземной выработки в случае обширной зоны обрушения вокруг нее после проходки. В этом случае обеспечение устойчивости пород обеспечивается за счет реализации схемы установки анкеров по принципу создания искусственного несущего свода (рисунок 2.1. б) в зоне разрушения.

Как правило, при разработке пластовых месторождений (уголь, соль), особенно при слоистой структуре пород кровли, в кровле выработок образуется зона прогиба. Эту часть массива можно закрепить, подвесив его к устойчивому слою с помощью анкерных стержней (рисунок 2.24). Слабый слой нагружается собственным весом, так что конструкция анкерного крепления просто основана на толщине слоя и расстоянии между стержнями.

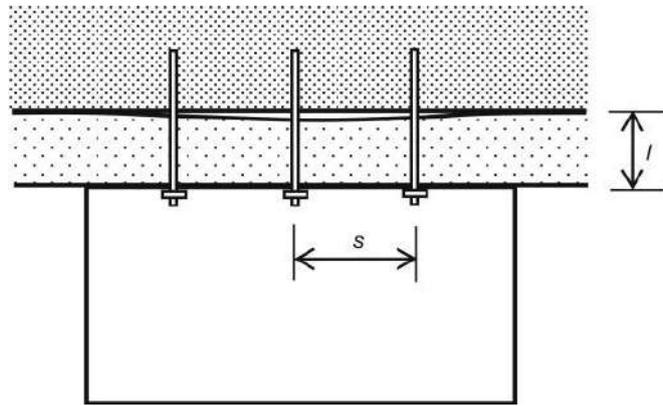


Рисунок 2.24. Схема крепления зоны прогиба в условиях слоистой кровли

Длина так называемой замковой части в устойчивом массиве определяется несущей способностью замка, в зависимости от вида закрепления стержней. При использовании анкеров на основе цементных или полимерных вяжущих компонентов рекомендуется длину замка принимать не менее 0,5-1 м, с запасом прочности 2-4.

Обрушение горных пород может распространиться на значительную глубину после проходки горной выработки. Анкеры играют решающую роль в системе поддержки в этом случае, потому что другие конструкции поддерживающей и удерживающей крепи могут только пассивно реагировать на деформацию горной породы и обеспечивать очень ограниченную эффективную поддержку массива горных пород. Очень часто время на установку поддерживающих конструкций настолько велико, что деформации массива успевают достигнуть критических величин, и нахождение в выработке становится не безопасным. При низком качестве горного массива и высоких напряжениях зона разрушения может быть настолько велика, что выходит за пределы глубины анкерования, а упрочненная часть горной породы продолжает смещаться в выработанное пространство (таблица 2.4 пп. 5).

Принцип анкерного крепления в этой ситуации заключается в укреплении массива плотно расположенными анкерами с закреплением по всей длине стержня (ЖБШ, СПА) на относительно небольшую глубину (до 3 м) в сочетании с длинными тросовыми анкерами на глубину (до 10-15 м). Короткие анкеры предназначены для создания «щита» из армированного массива, окружающего

выработку, а длинные тросовые болты подвешивают «щит» к прочным и устойчивым горным породам за зоной обрушения. Для обеспечения податливости анкеров используют рассредоточенное закрепление.

Эффективным способом укрепления является использование напряженных анкеров, что часто реализуется при креплении целиков (рисунок 2.25).

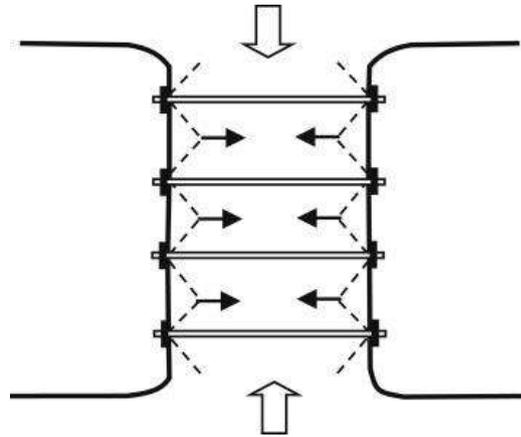


Рисунок 2.25. Схема укрепления целика напряженными анкерами

В неустойчивом массиве кровля выработки может быть предварительно закреплена забивными стержнями - проколотами, устанавливаемыми в свод перед забоем с небольшим углом наклона вверх. Это так называемая опережающая крепь (рисунок 2.26). Типы проколот различны, наиболее распространены арматурные стержни, самозабуривающиеся анкеры, трубный металлический профиль, реж бревна и т.п.

Проколоты обычно применяются в крайне неустойчивых породах, установку осуществляют как правило после каждой уходки забоя, длина стержней редко превышает 6 м, иногда до 10 м, расстояние между ними – 0,5-1,5 м в зависимости от степени нарушенности массива.

Для эффективной работы опережающей крепи необходимо обеспечить выполнение трех условий. Во-первых, передний конец стержня должен быть на несколько метров впереди забоя; во-вторых, выступающий в выработку конец стержня должен поддерживаться анкерами, арками или и тем, и другим; в-третьих, проколоты должны располагаться внахлест. Стержни проколот должны иметь как

минимум две точки опоры, одна из которых должна быть в массиве, а другая — внешняя конструкция крепи в выработке.

Несущая способность проколота рассчитывается из условий работы — консольной опоры или балки.

Энергопоглощающие анкеры, должны быть установлены в местах, подверженных повышенным сейсмическим нагрузкам и в массивах опасных и склонных по горным ударам. Для достижения удовлетворительного условия обеспечения устойчивости анкерные стержни устанавливаются совместно с соответствующими подхватами и затяжками. Крайне важно, чтобы анкеры имели прочную связь с удерживающими элементами, такими как сетка, полосовые подхваты и т.п., чтобы нагрузка на опорные элементы поверхности передавалась на стержень анкера. При этом каждый элемент системы крепления должен обладать податливостью и возможностью компенсировать резкие колебания массива с высокими скоростями смещений.

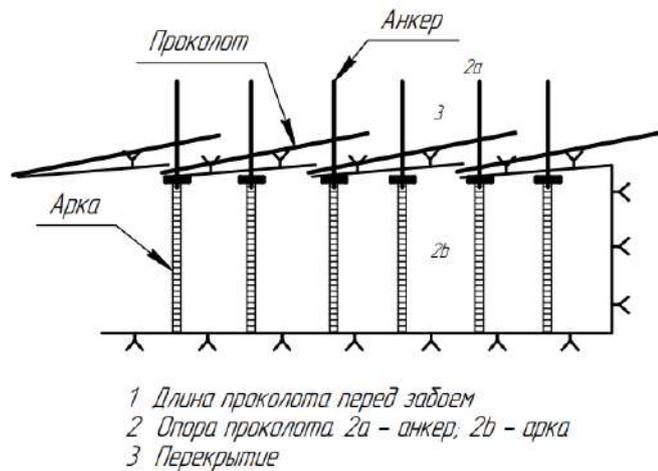


Рисунок 2.26. Схема установки опережающего крепления (продольный разрез выработки)

На основании перечисленных факторов, влияющих на обеспечение устойчивости в системе комбинированной крепи, основным несущим элементом является стержень анкера. Прочность анкерных болтов является ключевым параметром при проектировании. Анкеры должны быть деформируемыми в дополнение к требованиям высокой прочности в горных массивах с высоким напряжением. Другими словами, анкерные болты должны поглощать энергию в

условиях сдвливания и взрыва горных пород. Обеспечение указанных условий по типам анкеров в соответствии с ГОСТ 31559 представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Основные рабочие характеристики для различных типов анкеров

Типы анкеров	Несущая способность, не менее кН	Длина анкера, м <u>min</u> <u>max</u>	Возможность закрепления по всей длине стержня	Сохранение несущей способности после смещения
с механическим замковым креплением	50	<u>1,2</u> ограничена габаритами выработки	нет	нет
с химическим креплением	100	<u>1,4</u> ограничена типом стержня	да	нет
с креплением песчано-цементными смесями	60	<u>1,5</u> ограничена типом стержня	да	нет
с фрикционным креплением	50	<u>1,2</u> ограничена габаритами выработки	да	да

С учетом характеристик массива вокруг выработки в случае неглубокой зоны разрушения анкеры должны быть достаточно длинными, чтобы достать до свода естественного равновесия. В случае обширной зоны разрушения короткие анкеры плотно устанавливаются для создания искусственной несущей арки в зоне разрушения, а длинные – закрепляются в своде естественного равновесия.

Определение длины и расстояния между анкерами связано с методологией анкерной крепи. В случае выполнения функции удержания (подвешивания) анкер должен быть не менее 1 м длины за пределами зоны разрушения. В случае устройства искусственной несущей арки соответствующие длины анкеров составляют примерно 3 м. В этом случае расстояние между анкерами важнее, чем длина. Принцип заключается в том, что расстояние между анкерами гарантирует их взаимодействие, в зависимости от условий не превышает 1 м.

Конструкция анкера (вид крепления) обосновывается весом падающих блоков и нагрузочной способностью стержня анкера. При высоких напряжениях в горных породах следует учитывать ту часть энергии, высвобождаемой горной

породой, которая должна поглощаться анкерными болтами. Следует также учитывать максимально допустимое смещение и предельную смещаемость анкера.

Анкеры в системе крепи должны быть совместимы с другими элементами крепи в отношении способности смещения и поглощения энергии.

Данным условиям наиболее полно могут соответствовать анкеры с фрикционным видом закрепления (SplitSet, СЗА).

2.5. Учет совместного действия статических и динамических сил при обосновании параметров крепи

Вывалы и стреляния пород являются серьезной проблемой обеспечения устойчивости при подземных горных работах. В последние десятилетия глубина разработки значительно увеличилась, равно как и ухудшились качественные характеристики массива с точки зрения их устойчивости. Значительный объем исследований направлен на понимание механизма горных ударов с целью их прогноза и предотвращения, однако объемы разработок средств и способов контроля с помощью соответствующих систем поддержки горных пород не столь представительны. При горном ударе горная порода выбрасывается или заметно смещается. В соответствии с выводами предыдущего параграфа крепь должна обладать достаточной податливостью и несущей способностью. Фрикционные болты Split Set были впервые использованы для борьбы с угрозами горных ударов на шахтах Южной Африки в 1950-х и 1960-х годах.

Эффективность работы фрикционного анкера сдерживается низкой несущей способностью. Опыт использования жестко закрепленных анкеров также не дает успешных результатов. На рудниках СУБР отмечено, что сталеполимерные стержни анкера хрупко разрушались после горных ударов, железобетонные штанги также теряют свои грузонесущие функции.

Скорость выброса можно оценить по горизонтальному расстоянию выброшенной породы в случае, если взрыв происходит в стенах. Однако горные удары часто происходят в кровле выработки, а также в почве. Таким образом, можно эмпирически оценить скорость выброса на основе фрагментации

выброшенной породы в случае горного удара кровли [143-149,154-169]. При установке крепи выброшенная порода перестанет двигаться после смещения (рисунок 2.26). Как упоминалось выше, смещение U_{eq} должно быть меньше максимально допустимого смещения U_{max} , чтобы избежать эксплуатационных трудностей.

Признав ограничения как гибких, так и жестких конструкций крепи в борьбе с горными ударами, Кук и Ортлепп (1968) предложили концепцию обеспечения податливости. Они продемонстрировали эффективность составных динамических анкеров для уменьшения повреждений горных пород в выработке путем проведения испытаний. В 1990-х годах в Южной Африке разработан первый анкерный болт для предотвращения горных ударов (Jager, 1992; Ortlepp, 1992). Первоначальная версия конусного анкера была полностью закреплена в скважине цементным раствором. Позже он был модифицирован в Канаде. После этого было изобретено несколько других типов энергопоглощающих анкеров (например, [156,168] и др.). Принципы поддержки горных пород для борьбы с горными ударами заключаются в высвобождении и рассеянии энергии.

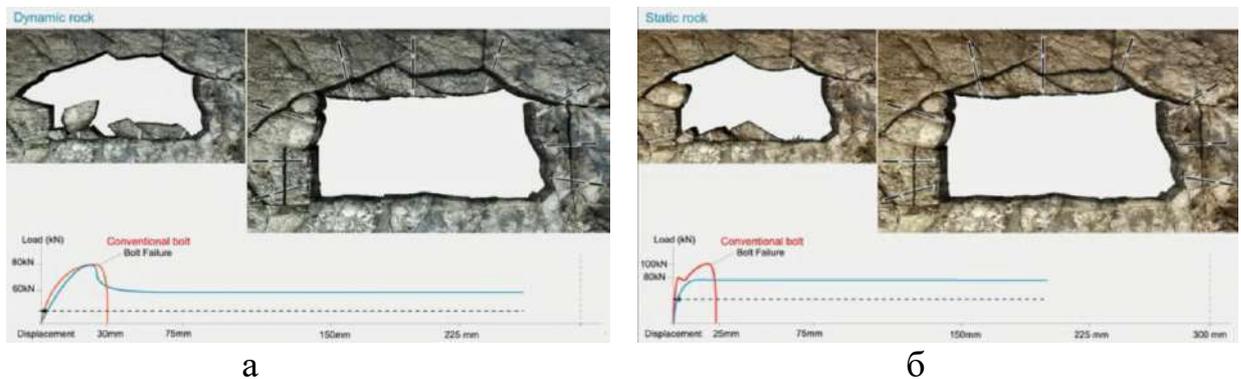


Рисунок 2.26. Результаты силового и деформационного взаимодействия массива пород и податливого анкера при динамических (а) и статических (б) нагрузках

Скальные блоки в кровле подземной выработки не падают до тех пор, пока в горной массе существует достаточно высокое горизонтальное напряжение. Однако они упадут под действием силы тяжести в условиях низких статических напряжений. На небольших глубинах массив горных пород часто содержит хорошо

развитые трещины. Раскрытые трещины свидетельствует о том, что напряжения в горных породах на месте невелики. В малонапряженных массивах горных пород крепь должна предотвратить падение структурных блоков пород.

С точки зрения механики анкеры должны обладать прочностью, чтобы выдержать собственный вес оторвавшегося каменного блока. Таким образом, использование запаса прочности, определяемый прочностью системы крепи и силой веса блока (т. е. нагрузкой), подходит для конструкции крепи, работающих в условиях статической нагрузки. По сути, это принцип проектирования в строительной механике, который гласит, что нагрузка, приложенная к конструкции, не должна превышать прочность конструкции, т. е. отношение прочности к нагрузке, называемое коэффициентом запаса прочности, должно быть больше, чем [23,24]. Этот принцип справедлив для наземных сооружений, где общая нагрузка на строительные конструкции обычно известна или легко определяется. В неглубоких подземных выработках этот принцип также справедлив, поскольку максимальной нагрузкой на скальную крепь является сила собственного веса разрыхленных блоков породы.

На глубине основной причиной низкой устойчивости является уже не падение разрыхленных блоков породы, а разрушение породы, вызванное напряжением. Высокие напряжения могут привести к двум последствиям в подземных выработках: большая деформация в мягких и слабых породах и горным ударам в скальных и крепких породах (рисунок 2.27).

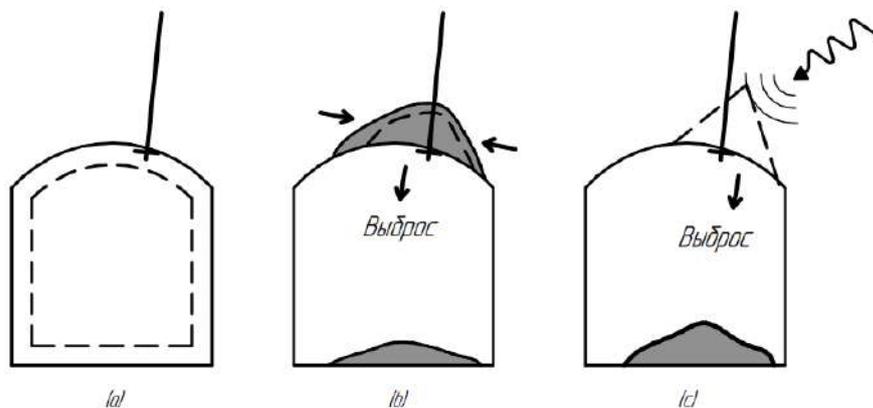


Рисунок 2.27. Условия нагружения анкеров в горных массивах с высоким напряжением: (а) выдавливание горных пород; (б) деформационный выброс; (в) выброс в результате ударно-волновых напряжений

Подходящими типами анкерных болтов в условиях статической нагрузки являются анкеры с закреплением твердеющими составами по всей поверхности арматурных стержней или с механическим закреплением.

В перенапряженных слабых и мягких породах необходимо компенсировать чрезмерную деформацию. Традиционный подход к борьбе с выдавливанием горных пород заключается в использовании пластичных анкеров в сочетании с другими типами удерживающих элементов, такими как сетка. Фрикционный анкер является типичным решением для этой цели, он может значительно смещаться, но не может сильно сдерживать деформацию породы из-за своей низкой несущей способности. Его основная функция заключается в предотвращении разрушения массива трещиноватых горных пород.

Горный удар – это проблема в перенапряженных твердых и крепких породах, сопровождающаяся мгновенной подвижкой частей или структур породы, т.е. сотрясением массива, приводящее к образованию заколов и дальнейших вывалов (обрушений) фрагментов горной массы в ослабленных краевых частях участков выработок.

Целью горной крепи в таких условиях является поглощение кинетической энергии выброшенной породы. Чем выше несущая способность энергопоглощающего анкера, тем меньше смещается выбрасываемая порода.

Самопроизвольный выброс напрямую вызван повышенным касательным напряжением в окружающей выработку породе после проходки. Перед выбросом напряженное состояние в массиве обычно является упругим. Источники высвобождаемой энергии и цели рассеяния энергии можно проиллюстрировать с помощью концептуальной модели падающего с высоты шара [160-162] (рисунок 2.28). В концептуальной модели шар обозначает выброшенную породу, а край уступа – прочность породы. Шар находится слева от обрыва, если касательное напряжение меньше прочности породы. Шар находится с правой стороны, если порода смещается и раскалывается. Расстояние от шара до края уступа слева показывает, насколько касательное напряжение находится на уровне прочности породы. Высвобождаемая энергия деформации увеличивается при росте

напряжений в массиве, а также при увеличении объема выброшенной породы, что представлено высотой обрыва (W_e). Кроме того, определенное количество энергии сейсмических волн (W_s) передается выброшенной породе, когда выброс инициируется сейсмическим событием. Чем ближе шар с левой стороны к обрыву, тем больше вероятность выброса. Полная высвобождаемая энергия, то есть сумма энергии деформации (W_e) и сейсмической энергии (W_s), рассеивается на разрушение породы (W_f), вибрацию и тепло (W_v) и выброс породы (W_k). Произойдет ли выброс и насколько он мощный, зависит от величины кинетической энергии (W_k).

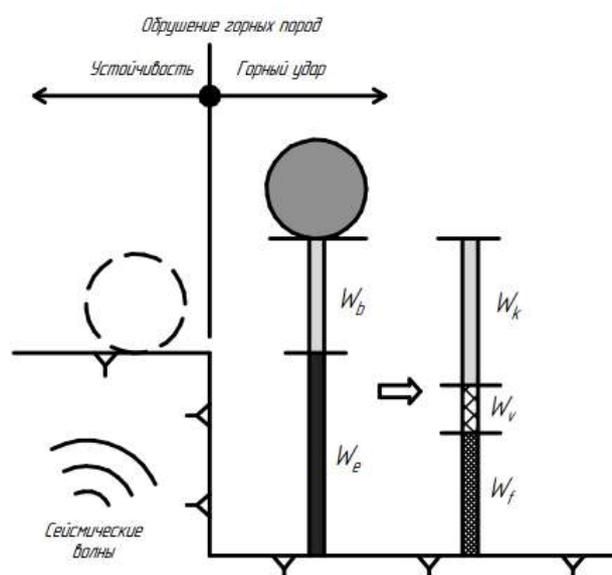


Рисунок 2.28. Концептуальная модель горного удара (столбцы энергии приведены не в масштабе)

При самоинициированном деформационном выбросе породы высвобождаемая энергия деформации (W_e) является единственным источником энергии. Предпосылками деформационного взрыва являются то, что касательное напряжение в породе должно достигать уровня прочности породы, и должна быть избыточная энергия для выброса породы, т. е. $W_k > 0$.

Горная порода, подвергшаяся горному удару со сдвигом, часто предварительно разрушается до события взрыва, так что кинетическая энергия для горного удара может быть в основном обеспечена сейсмическими волнами.

Другими словами, влияние сейсмической энергии (W_s) обычно много больше, чем энергия деформации (W_e).

На рисунке 2.29 показаны кривые деформации образцов горных пород двух классов: скальных упругих и хрупких. Деформационный удар часто происходит в породах класса II, но горный удар со сдвигом происходит в породах как класса I, так и класса II.

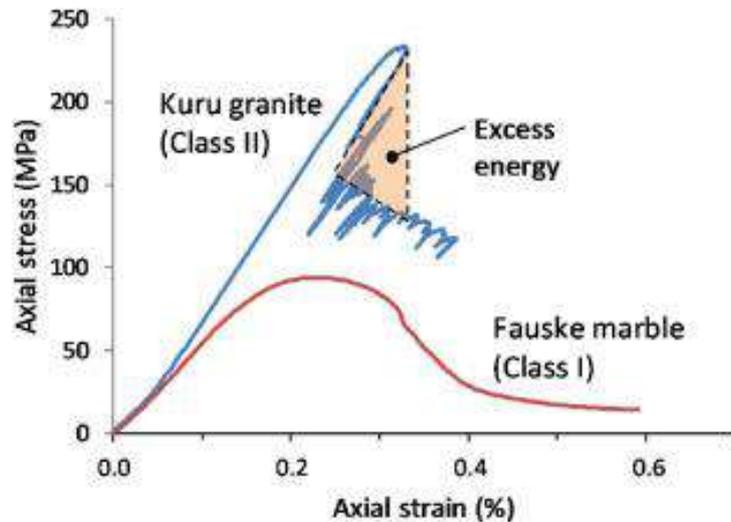


Рисунок 2.29. Зависимость напряжений от деформации хрупких (I) и упругих (II) пород

Преобразования энергии во время горного удара показаны на рисунке 2.30. Кривая слева описывает поведение породы под нагрузкой и смещением. Пиковая нагрузка в точке А представляет собой прочность породы. Энергия деформации, накопленная в породе до разрушения, представлена областью, ограниченной ОАВО. Часть энергии (W_{bf}) рассеивается при разрушении горных пород на послепиковой стадии, а оставшаяся часть (W_{bk}) преобразуется в кинетическую энергию для выброса горной породы без учета вибрации и тепла. Сплошная линия справа (АС) — линия характеризующая реакцию окружающей породы при разрушении. Наклон линии представляет собой общую жесткость окружающей породы в месте обрушения.

Энергия деформации, высвобождаемая из выброшенной породы, составляет $(W_b) = (W_{bf}) + (W_{bk})$, энергия деформации, высвобождаемая из окружающей породы, равна $(W_m) = (W_{mf}) + (W_{mk})$, а (W_s) представляет собой сейсмическую энергию, передаваемую выброшенной породе.

Согласно требованиям [24], в сейсмически активных районах при расчетной сейсмичности 7 и более баллов обязательно применение обделки. При расчетной сейсмичности тоннелей 8 и более баллов обязательно применение замкнутой обделки. Конструкция обделки должна выбираться в соответствии с инженерногеологическими условиями местности и обосновывается расчетом.

При расчетной сейсмичности тоннеля 7 баллов в качестве постоянной обделки в прочных грунтах допускается применение набрызгбетона в сочетании с анкерами. Конструкция анкеров должна обеспечивать их сцепление с грунтом по всей длине и иметь равную долговечность с бетоном обделки.

Для компенсации деформаций крепи рекомендовано устраивать антисейсмические швы, расстояние между которыми L , м, определяется по формуле

$$l = \frac{\delta c_1 T_0}{4 \pi A}$$

где c_1 – скорость продольных сейсмических волн в грунте, мм/с; T_0 – преобладающий период сейсмических колебаний массива, с; A – возможная максимальная амплитуда колебаний массива, мм; δ – допускаемое продольное смещение смежных участков относительно друг друга, мм.

Таким образом, определяющей условия обеспечения устойчивости при динамическом воздействии, является значение величины смещения массива пород. Которое в зависимости от природы сейсмических возмущений составляет от 20-30 мм (горные удары, сесмика промышленных взрывов) до 80 мм при тектонических землетрясениях [24].

Выводы по главе 2

В результате проведенного анализа известных исследований, а также методов расчета и обоснования параметров конструкции горной крепи в рамках

поставленной цели и задач диссертационных исследований сформулированы следующие выводы.

Известные принципы проектирования горной крепи для различных условий обеспечения устойчивости учитывают условия крепления массива; формирования зон естественного обрушения и естественного равновесия. На стадии проектирования осуществляется выбор типов крепи, а также основные параметры ее размещения: длина и расстояние между несущими элементами, необходимый коэффициент запаса прочности, необходимость использования дополнительных, удерживающих породы, узлов в виде подхватов, затяжек и т. п. Рассмотрены различные виды анкерной крепи, применяемые в инженерной практике.

Традиционные методы зарекомендовали себя на глубинах разработки до 500 м в условиях относительно низких внутренних напряжений, вне зоны влияния очистных работ.

В случае высоких напряжений на некотором расстоянии от контура выработки с учетом формирования свода естественного равновесия выбор крепи и ее параметров целесообразно осуществлять исходя из обеспечения минимальных деформаций в кратчайшие сроки, при этом необходимо добиваться сохранения естественных свойств массива и исключать длительный период техногенного воздействия.

Целесообразно использовать комбинированные крепи при этом каждый элемент выполняет определенную функцию удержания, поддержания и укрепления массива.

Устойчивость подземных горных выработок в условиях действия высоких статических и динамических нагрузок достигается комплексом мер, включающих оперативную оценку и контроль состояния: приконтурного массива, анкерной и комбинированной крепи в соответствии с особенностями нагружения ее элементов во времени и пространстве с учетом специфики их деформирования при возведении и эксплуатации.

Расстояние между анкерами более важно, чем длина в случае создания искусственного несущего свода. В дополнение к фактору безопасности при

проектировании также необходимо учитывать максимально допустимое смещение в выработке и предельную податливость анкеров. Анкерные стержни должны быть совместимы с другими опорными элементами в одной системе конструкции крепи с точки зрения способности деформаций и несущей способности (поглощения энергии).

В массивах с высокими напряжениями параллельные поверхности трещины растяжения вызывают выбросы - горный удар. В сильно напряженных, умеренно крепких горных породах во время проходки в окружающей породе создается зона разлома, в котором выброс происходит в результате ударно-волновых воздействий динамического характера.

Чрезмерное выделение энергии является предпосылкой возникновения горного удара. Избыточная энергия исходит от самой выброшенной породы и окружающей породы. Энергопоглощающая способность системы крепления для предотвращения горных ударов должна быть больше, чем избыточная энергия. Одним из условий обеспечения устойчивости при динамическом воздействии является значение величины смещения массива пород, которое влияет на степень деформируемости (податливости) системы крепления. В зависимости от природы сейсмических возмущений: горные удары, сесмика промышленных взрывов смещения находятся в диапазоне 20-30 мм, при тектонических землетрясениях – до 80 мм.

Все элементы крепи должны рассеивать энергию, быть прочно соединенными и иметь совместимую деформируемость. Опорная система для борьбы с горными ударами состоит, как правило, из трех несущих уровней: уровень податливой анкерной крепи; уровень несущих анкеров условной податливости (опционально); подхваты из сетки с набрызгбетоном. Армированный фиброволокном набрызгбетон является хорошим способом повысить несущую способность системы крепи для обеспечения устойчивости выработки.

Эффективность горнотехнической системы «порода-анкер-подхват-набрызгбетон» обеспечивается при реализации технологии, учитывающей механизм нагружения и деформирования совокупности составляющих

комбинированной крепи в пространстве и во времени, что необходимо учитывать при определении порядка ее возведения.

Анкеры рассеивают больше энергии, чем поверхностно-удерживающие элементы (сетка и набрызгбетон) в прочной горной породе, в то время как поверхностно-удерживающие устройства рассеивают больше энергии в более мягких и слабых массивах.

Гибридная система жесткой и податливой крепи не является удовлетворительной из-за разницы в деформируемости жестких и податливых элементов системы крепи. Полностью податливая система крепи кажется лучшим вариантом для борьбы с горными ударами. Поэтому в сложноструктурном массиве горных пород с различающимися прочностными и деформационными характеристиками следует использовать такие комбинированные конструкции, нагружение и деформирование которых происходит по всей длине стержня анкера, непосредственно после его установки, а несущая способность увеличивается по мере эксплуатации за счет воздействия сил от горизонтального смещения структурных частей массива.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕПИ И МАССИВА

3.1. Исследование свойств пород приконтурного массива горных выработок

Одной из основных характеристик массива, определяющей его устойчивость, является трещиноватость (также применим термин «нарушенность»). Трещиноватость массива может быть как естественной (геологического происхождения), так и искусственной – наведенной в результате БВР и после обнажения массива. Исследованию параметров трещиноватости посвящено достаточно много исследований (глава 1 настоящей диссертации).

Состояние приконтурного массива оценивалось по геолого-разведочному бурению в выработке после 5 лет эксплуатации на глубине 1000 м. Выработка проходила параллельно простиранию пластового рудного тела, скважины пробурены в стенке штрека со стороны рудного тела, удаленной от штрека примерно на 150 м. Каротаж трещин на кернах позволил получить информацию о распределении вторичных напряжений в породе, окружающей штрек. На рисунке 3.1 показаны характерные разрушения керна на различной удаленности от контура выработки.

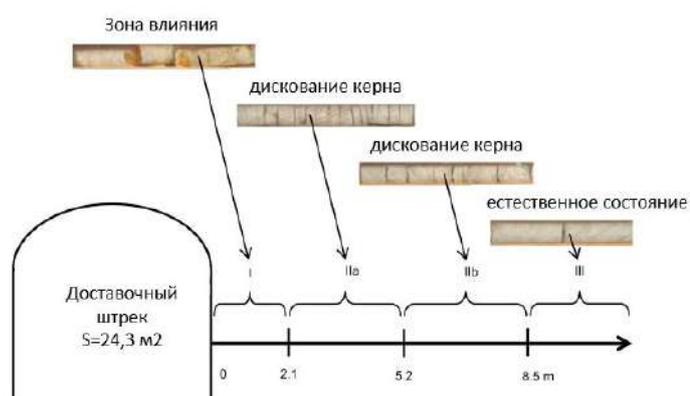


Рисунок. 3.1. Состояние пород в бортах выработки на глубине 1000 м

Особый интерес представляют массивы пород, которые обладают естественной устойчивостью и прочностью, но в результате проходки они изменяют свои свойства и переходят в категорию неустойчивых и весьма неустойчивых. Как правило крепь выработок в данных условиях – металлическая рамная или бетонная.

Данный тип пород на стадии проектирования относится к неустойчивым или среднеустойчивым с соответствующими рекомендациями по типу крепи. Специфике состояния массива и условиями его изменения посвящено мало работ. Однако проведенные исследования причин перехода и факторов, обеспечивающих необходимую устойчивость для различных типов крепи, показали, что реализация методологии, предложенной в главе 2, позволяет обеспечить качественное крепление и эксплуатацию выработок.

Исследования проведены на ряде рудников Республики Казахстан: Орловский, Артемьевский и Донской, разрабатывающих месторождения различного состава и качества руд и пород.

Месторождение Орловское расположено в юго-западной части Золотушинско-Орловского рудного поля в висячем боку Иртышского глубинного разлома. В таблицах 3.1 и 3.2 приведены основные свойства руд и пород месторождения.

Таблица 3.1. Физико-механические свойства руд и пород Орловского месторождения

Породы и руды	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности на растяжение $\sigma_{р}$, МПа	Угол внутреннего трения ρ , град	Сцепление С, МПа	Динамический модуль упругости $E \times 10^{-4}$, МПа	Кoeff. Пуассона μ	Объемный вес γ , МН/м ³
Альбит-порфиры	96	15	29	28	7,6	0,22	0,0271
Алевриты глинисто-кремнистые	73	7	34	23	7,2	0,18	0,0275
Алевриты кремнистые	127	14	33	38	8,5	0,23	0,0287
Туфоалевропесчаники	106	8	36	35	8,5	0,25	0,028
Туфоалевриты	63	4	36	21	5,8	0,15	0,0292
Сплошная барит-полиметаллическая руда	113	11	33	41	12,9	0,21	0,0464
Вкрапленная медно-колчеданная руда в метасоматитах	60	7	33	17	9,9	0,26	0,0316
Вкрапленная медно-колчеданная руда в хлоритолитах	54	3	36	21	9,8	0,15	0,0393
Вкрапленная медно-колчеданная руда в кремнистых алевритах	113	10	34	32	8,4	0,22	0,029
Медно-колчеданная руда	123	18	30	37	12,5	0,23	0,0435
Сплошная полиметаллическая руда	149	8	37	90	14,0	0,25	0,0450
Сплошная медно-цинковая руда	128	11	33	50	14,8	0,24	0,0468

Таблица 3.2. Прочностные характеристики горных пород и руд по залежам «Основная» и «Новая» Орловского месторождения

Шифр объединенных проб по ведомости	Место отбора проб	Прочность при одноосном сжатии						Прочность при одноосном растяжении					Угол внутр. трения ϕ , град	Сцепление C , МПа	
		В воздушно-сухом состоянии			В водонасыщенном состоянии			Кэфф. размягчаемости K_p	В воздушно-сухом состоянии			В водонасыщенном состоянии			
		предел прочности σ_c^c , МПа	коэфф. вариации K_v , %	коэфф. крепости f^c	предел прочности $\sigma_c^в$, МПа	коэфф. вариации K_v , %	предел прочности σ_p^c , МПа		коэфф. вариации K_v , %	коэфф. хрупкости K_{xp}	предел прочности $\sigma_p^в$, МПа	коэфф. вариации K_v , %			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1Н, 2Н, 3Н	Залежь Новая. 14 гор, блок 1, слой 11, слюевая заходка 20. 15-17 м от марк. точки № 55	79	25	8	76	24	0,96	5	37	15,80	5	32	40	25	
4Н, 5Н, 6Н	Залежь Новая. 14 гор, блок 1, слой 11, разрезной орт № 3. 20-25 м от марк. точки № 57	111	22	11	93	24	0,84	11	35	10,09	10	36	37	31	
7Н, 8Н, 9Н	Залежь Новая. 14 гор, блок 1, слой 3, целик 3.	145	24	15	128	35	0,88	10	31	14,50	8	22	40	43	
1, 6, 7	Залежь Основная. 11 гор, блок 12с, слой 16, слюевая заходка 81. 0-2 м от сопряжения	82	31	8	77	23	0,94	3	32	27,33	3	36	42	24	
2, 8, 11	Залежь Основная. 11 гор, блок 4с, слой 14, слюевая заходка 91. 10-14 м от марк. точки № 102	145	36	15	126	25	0,87	11	27	13,18	11	47	39	42	
5, 9, 10	Залежь Основная. 11 гор, блок 4с, слой 14, слюевая заходка 118. 0-2 м от сопряжения	105	28	11	101	37	0,96	5	27	21,00	5	33	40	36	
3, 13, 14	Залежь Основная. 12 гор, блок 2с, слой 10, слюевая заходка 16. 12-16 м от сопряжения	115	38	12	100	29	0,87	7	34	16,43	6	45	40	37	

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4, 12	Залежь Основная. 12 гор, блок 12с, слой 10, слоевая заходка 58. 5 м от марк. точки № 32	128	18	13	126	29	0,98	8	46	16,00	7	30	40	38
15, 16, 17	12 гор, дост. орт	85	30	9	78	23	0,92	9	34	9,44	7	42	37	23
18, 19, 20	13 гор, дост. штрек. 25-30 м от сопряжения	157	27	16	130	32	0,83	13	39	12,08	11	45	38	45
1	Залежь Новая. Транспортный уклон на 15 гор. 28 м от марк. точки № 55	97	24	10	45	29	0,46	10	39	9,70	9	35	37	27
2, 3, 4	Залежь Новая. Транспортный уклон на 15 гор. 20-28 м от марк. точки № 55	72	35	7	69	38	0,96	8	65	9,00	7	47	36	19
5, 6	Залежь Новая. 15 гор, блок 1, слой 4, разрезной орт № 1. 10 м от марк. точки № 55	87	57	9	44	39	0,51	6	58	14,50	5	34	40	16
7, 8, 10	Залежь Новая. 15 гор, блок 1, транспортный орт 4 слоя. 1 м от марк. точки № 57	34	67	3	19	69	0,56	2	43	17,00	2	46	39	10
9, 11	Залежь Новая. 15 гор, блок 1, 4 слой разр. штрек № 7. 22 м от марк. точки № 1	39	33	4	33	48	0,85	4	47	9,75	4	32	36	10
12, 13, 14	Залежь Новая. 15 гор, блок 1, 4 слой разр. штрек № 7. 24 м от марк. точки № 1	21	32	2	19	69	0,90	2	65	10,50	2	64	36	6
15, 16, 17	Залежь Основная. 11 гор, блок 4с, слой 14, слоевая заходка 86. 15-20 м от сопряжения	46	52	5	28	30	0,61	6	33	7,67	3	36	35	12
18, 19, 20	Залежь Основная. 11 гор, блок 12с, заезд на 10 слой. 5-10 м от сопряжения с тр. уклоном с 10 на 11 гор.	66	47	7	65	32	0,98	10	35	6,60	8	35	34	18
21, 22, 23	Залежь Новая. 15 гор, блок 1, 4 слой разр. штрек № 7. 33 м от марк. точки № 1	50	29	5	48	47	0,96	5	22	10,00	4	53	37	14

Прочностные свойства с глубиной значительно изменяются для одних и тех же разновидностей руд и пород. Изменение значений прочности пород на одноосное сжатие в зависимости от глубины разработки приведено в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Изменение прочности руд и пород Орловского месторождения с глубиной

Породы и руды	Глубина отбора проб, м					
	200÷300			300÷700		
	Прочность на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$, МПа					
	от	до	среднее	от	до	среднее
Лавобрекчии альбит-порфиоров	26	145	56,8	61	134	108,6
Лавы альбит-порфиоров	32	170	76,4	127	127	127
Кварцевые альбит-порфиры	50	189	129,4	100	236	153,6
Плагиоклазовые порфиры	56	104	74	65	89	77
Алевролиты глинисто-кремнистые	24	227	80,4	110	145	129
Алевролиты кремнистые	13	228	71	77	152	120,2
Туфоалевропесчаники	29	183	100,7	70	70	70
Хлоритовые породы	8	80	38,6	35	92	64,6
Сплошная барит-полиметаллическая руда	25	142	63,3	127	135	130,6
Вкрапленная медно-колчеданная руда в хлоритолитах	39	73	54,65	142	185	165,9
Сплошная медно-колчеданная руда	32	32	32	199	243	221
Сплошная медно-цинковая руда	13	23	14,7	262	262	262

Испытания на прямой сдвиг на распилах по стандарту ISRM позволяют измерить пиковую и остаточную прочность при прямом сдвиге в результате приложения нагрузки перпендикулярно плоскости распила. На рисунках 3.2 и 3.3 показаны стадии подготовки и испытания образцов.

Расположение испытываемого образца в приборе выбирается таким образом, чтобы плоскость сдвига совпадала с плоскостью ослабления в образце (слоистость, сланцеватость, кливаж, контакт пород разной прочности, распил).



Рисунок 3.2. Вид проб

а) в сухом состоянии



до испытания



после испытания

б) в водонасыщенном состоянии



до испытания



после испытания

Рисунок 3.3. Испытания образцов на прочность при одноосном растяжении

Полевые исследования проводились в горных выработках слоев 10 и 14. В рамках исследований проведен визуальный осмотр состояния контуров горных выработок, элементов крепи, оценена устойчивость кровли и бортов, сделан предварительный анализ направления действия главных напряжений.

Визуальный осмотр показал, что породы, по которым пройдены горные выработки, находятся в нарушенном состоянии. Наблюдается изрезанность массива трещинами, коэффициент структурного ослабления на осматриваемых участках составляет 0,4-0,1.

Угол падения трещин, их направленность относительно осей выработок, а также общее состояние пород указывают на то, что существуют неблагоприятные условия для проведения крепежных работ стандартными анкерными системами (ЖБШ, СПА). Породы после обнажения активно вступили в реакцию с шахтной атмосферой, изменили свои первоначальные физико-механические свойства и перешли в стадию активного вывалообразования.

Негативно на общей устойчивости наблюдаемых выработок сказываются высокая обводненность, заполненность трещин серицитом, хлоритом (глинками трения), температура массива и шахтного воздуха.

Установленное крепление – металлические рамы СВП с затяжкой – испытывает нагрузки, созданные не только весом налегающих пород кровли, но и напряжением, образующимся в боках выработки. Как следствие действия такого напряжения – выдавливание стоек крепи СВП в районе почвы выработок.

Геомеханическая оценка горного массива рудника «Орловский» проведена в ходе моделирования по двум разрезам (10А и 12А), отражающим типичную ситуацию ведения горных работ.

Моделирование НДС массива вокруг очистных выработок проводилось с использованием программного комплекса RocScience. На рисунках 3.5 и 3.6 показаны примеры полученных эпюр напряжений вокруг очистных выработок.

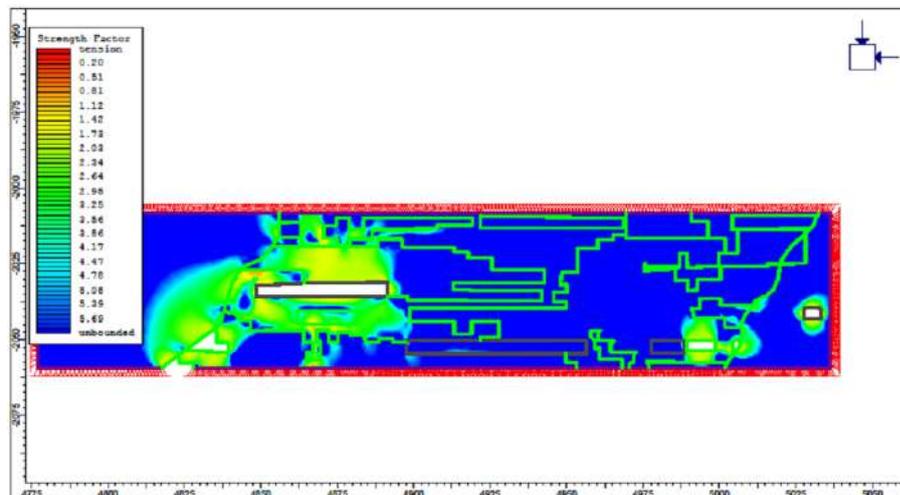


Рисунок 3.5. Состояние массива при отработке слоев, попадающих в разрез 10А висячем боку рудного тела в отметках от -460 до -500

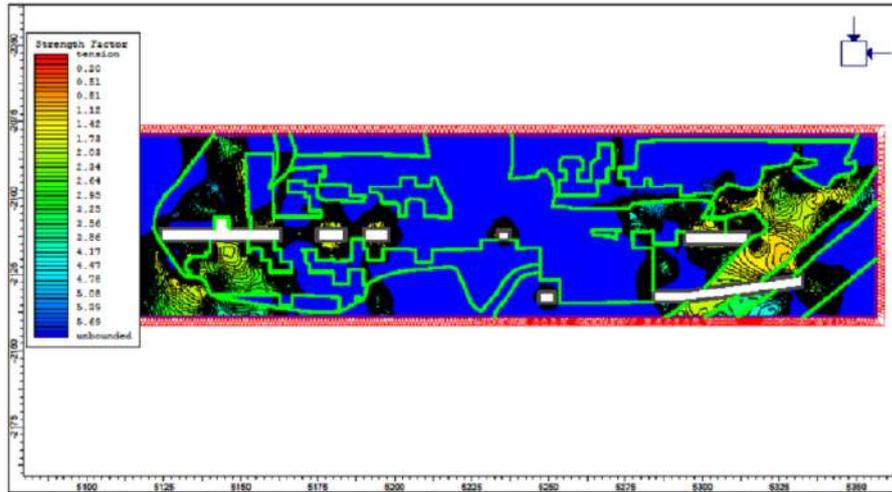


Рисунок 3.6. Состояние массива при отработке слоев, попадающих в разрез 12А висячем, лежащих боках, а также в центре рудного тела в отметках от -460 до -520

Предварительный анализ результатов моделирования показал наличие активного развития геомеханических процессов на всех стадиях отработки. Напряжения, возникающие в массиве, значительно ниже прочностных характеристик горных пород в естественном состоянии, поэтому при своевременном креплении горных выработок возможно предотвратить развитие метасоматических процессов.

Для анализа процессов, происходящих в горном массиве при взаимодействии его с агрессивной шахтной атмосферой, проведены соответствующие испытания образцов руд и пород Орловского рудника для определения физико-механических характеристик, водопоглощения и сорбции, в том числе методом определения равновесной сорбционной влажности.

Подготовка к эксперименту и определение вышеописанных свойств руд и пород производились в следующей последовательности:

- 1) распиловка кусков руд и пород на образцы с размером грани 50 мм;
- 2) размещение одной партии образцов в условия, позволяющие обеспечить влажность 100 % (в воде) на 2 суток, другую партию подвергли сушке;
- 3) взвешивание образцов в сухом и водонасыщенном состоянии для определения их плотности;

4) определение водопоглощения руд и пород путем вычитания массы сухого образца из массы водонасыщенного образца и перевода значения в проценты;

5) определения предела прочности при сжатии руд и пород путем раздавливания образцов на прессе.

Полученные значения физико-механических свойств руд и пород представлены в таблице 3.4.

Анализ данных таблицы показал, что значение прочности по первым образцам практически не изменяется. Это объясняется плотностью структуры, отсутствием видимых трещин и, как следствие, нулевым водопоглощением. Породы остальных образцов сильнотрещиноватые, подвержены процессам метаморфизации. Значение водопоглощения находится в пределах 1 %. Высокие показатели водопоглощения из-за расклинивающего эффекта резко снижают прочностные показатели руд и пород.

Таблица 3.4. Физико-механические свойства руд и пород Орловского рудника

№ образца	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение по массе, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	4481	-	110
1 нас	4528	0	106
2	3056	-	23
2 нас	3048	0,79	0,7
3	2941	-	4,2
3 нас	2961	0,78	3,3
4	3760	-	54
4 нас	3109	1,00	1,0

Для подтверждения данных по водопоглощению проведены дополнительные испытания трех образцов. Значения показателей водопоглощения представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Результаты испытаний руд и пород на водопоглощение

№ образца	Масса образца		Водопоглощение %
	сухого	насыщенного	
1	189	189	0
2	92	93	1,08
3	116	118	1,7

Значения водопоглощения находятся в пределах 1-2 %, что негативно сказывается на прочностных характеристиках руд и пород и в целом может привести к потере их устойчивости.

Для анализа сорбционных способностей горных пород проведен замер сорбции (поглощения воды горными породами из атмосферы, с влажностью воздуха 100 %). Полученные значения сорбции руд и пород по истечении 48 часов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Результаты определения значения сорбции руд и пород по истечении 48 часов

№ образца	Масса образца		Сорбция %
	сухого	насыщенного	
1	142	143	0,7
2	417	419	0,5
3	265	266	0,38
4	274	275	0,37

Сорбционная влага в образцах в среде со 100 % влажности за 48 часов приближается к величине в 50 % от величины водопоглощения за те же 48 часов. Следует отметить, что по истечении 48 часов впитывание влаги из воздуха горными породами прекращается.

Основные процессы метаморфизации горных пород проходят в промежутке от 0 до 24 часов. В период с 6 до 18 часов после обнажения горные породы напитываются влагой, увеличивается их вес, снижается сцепление, что приводит к процессам их обрушения.

С 24 до 48 часов процессы в зоне до 0,6 м от контуров выработки прекращаются и, если произошло частичное или полное обрушение этой зоны, то процессы переходят в более глубокие участки.

Аналогичные исследования проведены на шахте Артемьевская ТОО «Востокцветмет» и месторождениях Донского ГОКа АО «ТНК «Казхром», пример результатов представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Физико-механические свойства руд и пород Молодежного месторождения «Донской ГОК»

№ образца	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение по массе, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа
1	2578	-	45,0	4,6
1 нас	2592	0,59	19,0	1,9
2	2657	-	26,2	3,0
2 нас	2680	0,65	10,7	1,3
3	2630	-	23,3	3,3
3 нас	2658	0,74	9,8	1,4
4	2765	-	97,3	8,3
4 нас	2807	0,86	41,0	3,5
5	2837	-	36	4,5
5 нас	2850	0,81	15	1,9
6	2895	-	38	4,8
6 нас	2914	0,75	16	2,1

3.2. Исследование изменений напряженного состояния приконтурного массива горной выработки

НДС массива горных пород и шахтной крепи оценивалось для условий отработки Шахты десятилетия независимости Казахстана. 2-я очередь отработки (далее ШДНК-2).

Исследования проводились в трех постановках задачи:

- 1 – критерий прочности Хука-Брауна, МКЭ;
- 2 – критерий прочности Кулона-Мора, метод конечных элементов (МКЭ);
- 3 – метод конечно-дискретных элементов (МКДЭ).

Расчетная схема для оценки НДС массива пород вокруг выработки представлена на рисунке 3.7.

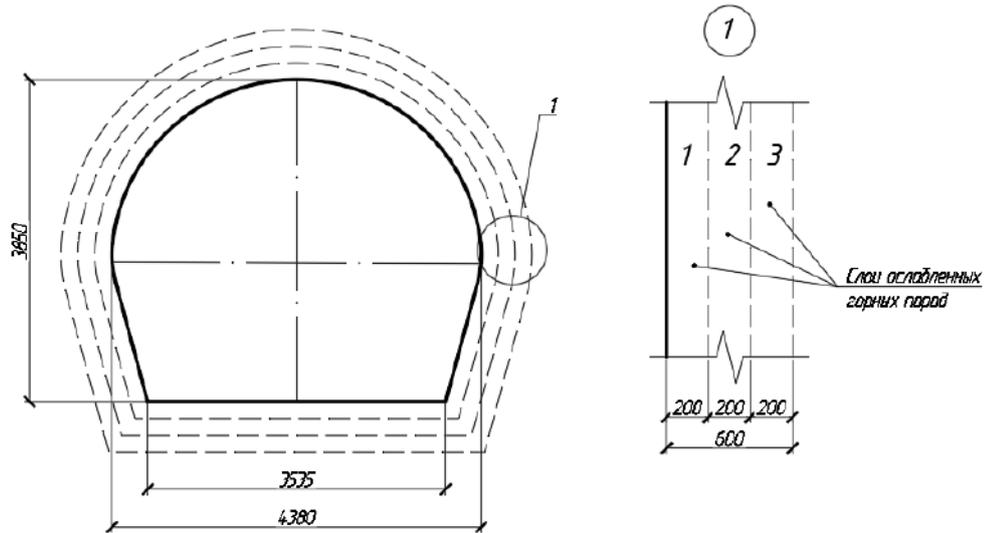


Рисунок 3.7. Расчетная схема для оценки НДС массива пород вокруг выработки

Свойства пород и отдельностей между трещинами принимались по данным лабораторных исследований образцов породы.

Оценка НДС массива проводилась в два этапа моделирования: 1 – модель незакрепленной выработки; 2 – модель закрепленного массива.

Изменение прочностных характеристик пород учитывалось в порядке, указанном в таблице 3.8. Прочностные параметры заполнителя трещин представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.8. Изменение прочностных характеристик горных пород

№ слоя	Временной интервал, ч			
	0	6	12	24
1	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3
2	σ_0	σ_0	σ_1	σ_2
3	σ_0	σ_0	σ_0	σ_1

Примечание: σ_0 – физикомеханические свойства горной породы до контакта с влагой; σ_1 – физикомеханические свойства горной породы через 6 часов после контакта с влагой; σ_2 – физикомеханические свойства горной породы через 12 часов после контакта с влагой; σ_3 – физикомеханические свойства горной породы через 24 часа после контакта с влагой.

Размер зоны неупругих деформаций оценивался по нескольким характеристикам:

– Yielded Elements – текучие элементы отражают характерную концентрацию неустойчивых элементов со сдвиговыми и растягивающими усилиями;

- максимальные деформации;
- Strength Factor – отношение прочности пород к максимальным напряжениям в каждом расчетном элементе.

Таблица 3.9. Прочностные свойства заполнителя трещин

Тип заполнителя	Сцепление, МПа			Угол внутреннего трения, град.		
	Минималь- ное	Максималь- ное	Сред- нее	Минималь- ное	Максималь- ное	Среднее
Кремнисто- карбонатный	2,4	4,5	3,1	30	42	37
Талько- слюдистый	0,45	3,1	1,9	17	44	33
Серпофитовый	1,8	9,6	6,0	20	43	35
Серпентиновый	7,0	15	10,8	30	49	41

Результаты моделирования показали, что устойчивость выработки сохраняется в течение 12 ч после обнажения, затем характерны вывалообразования и дальнейшее разрушение выработки. В серпентинитах по дунитам и перидотитам устойчивость выработки сохраняется в течение 6 ч после обнажения.

На основании полученных результатов породы разделены на три класса устойчивости:

Класс 1. Серпентиниты по дунитам и перидотитам (подрудный с первичными трещинами). Серпентиниты по дунитам и перидотитам (надрудный с первичными трещинами). Средней устойчивости.

Класс 2. Серпентиниты по дунитам и перидотитам (подрудный с вторичными трещинами). Неустойчивые.

Класс 3. Серпентиниты по дунитам и перидотитам (надрудный с вторичными трещинами). Весьма неустойчивые.

Второй этап моделирования проводился для условий, в которых было запланировано проведение опытно-промышленных испытаний для пород, относящихся к 1 и 2 классам устойчивости. Моделирование изменения НДС закрепленной выработки осуществлялось по разработанным паспортам крепления в два этапа. Параметры крепления определены на основании расчетных моделей методом подбора параметров. Конструкция крепи, в соответствии с программой-

методикой и проектом производства работ по опытному креплению, принималась следующая:

- для 1 класса устойчивости – нанесение набрызгбетона толщиной 50 мм, установка СЗА с армокаркасами и нанесение набрызгбетона толщиной 150 мм;
- для 2 класса устойчивости – нанесение набрызгбетона толщиной 50 мм, установка СЗА с армокаркасами, нанесение набрызгбетона толщиной 80 мм, установка металлической сетки и нанесение набрызгбетона толщиной 70 мм.

По результатам испытаний установлено, что после крепления массива в течение 6 часов обеспечивается устойчивость выработок, массив экранируется от пропитывания влагой и дальнейшего разупрочнения массива не происходит (таблица 3.10).

Таблица 3.10. Физико-механические характеристики горных ШДНК-2

Время измерения, ч	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град	Статический модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона	Объемный вес, т/м ³
Серпентиниты по дунитам и перидотитам (надрудный с первичными трещинами)							
0	45	4,6	14,6	43	53	0,24	2,55
6	34	3,5	11,0	41	39,8	0,25	2,55
12	25	2,6	8,2	38	29,9	0,26	2,55
24	19	1,9	6,1	33	22,3	0,27	2,55
Серпентиниты по дунитам и перидотитам (надрудный с вторичными трещинами)							
0	26	3,0	5,3	42	53	0,24	2,55
6	19	2,3	4,0	40	39,8	0,25	2,55
12	14	1,7	3,0	37	29,9	0,26	2,55
24	10,7	1,3	2,2	32	22,3	0,27	2,55
Серпентиниты по дунитам и перидотитам (подрудный с первичными трещинами)							
0	97	8,3	20	45	75	0,22	2,82
6	73	6,2	15	43	56,3	0,23	2,82
12	55	4,7	11,3	40	42,4	0,24	2,82
24	41	3,5	8,4	35	31,5	0,25	2,82
Серпентиниты по дунитам и перидотитам (подрудный с вторичными трещинами)							
0	36	4,5	7	44	54	0,23	2,82
6	27	3,4	5,6	42	41	0,24	2,82
12	20	2,5	4,2	39	31	0,25	2,82
24	15	1,9	3,1	34	23	0,26	2,82

При анализе НДС массива в окрестности горных выработок рассматривались две упругопластические модели: анизотропная модель и изотропная модель.

Из рисунков 3.8-3.13 и таблиц 3.11 и 3.12 следует, что породы на контурах проводимой выработки на третьей-четвертой стадии (через 12-24 часа) начинают активно разрушаться, причем прогрессирующим образом. В обеих моделях этот процесс качественно прослеживается, в анизотропной модели положение блоков разрушения уточняется благодаря конструктивному заданию систем трещин.

Размер неустойчивой зоны вокруг выработки составляет 1,7 м при максимальных смещениях контура выработки 31 мм.

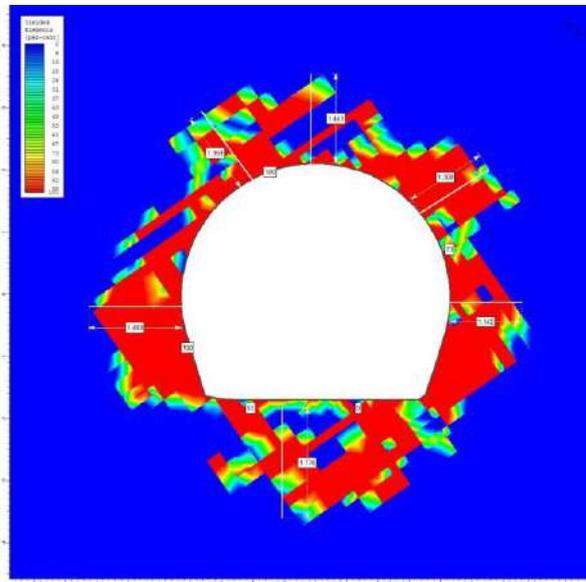


Рисунок 3.8. Yielded Elements по анизотропной модели через 24 часа

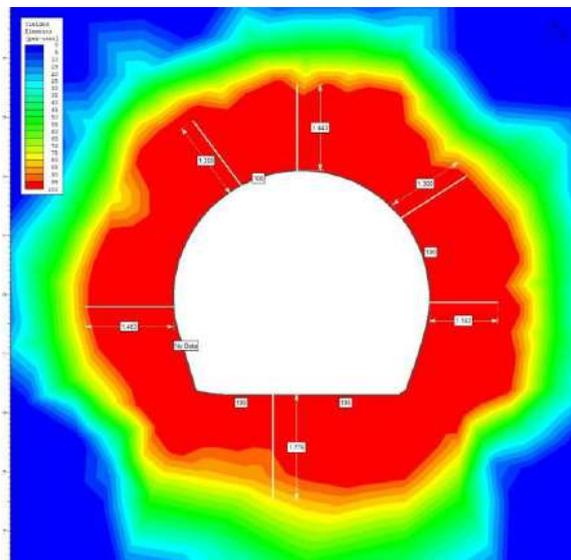


Рисунок 3.9. Yielded Elements по изотропной модели (GSI=70) через 24 часа

Таблица 3.11. Результаты моделирования НДС приконтурного анизотропного массива

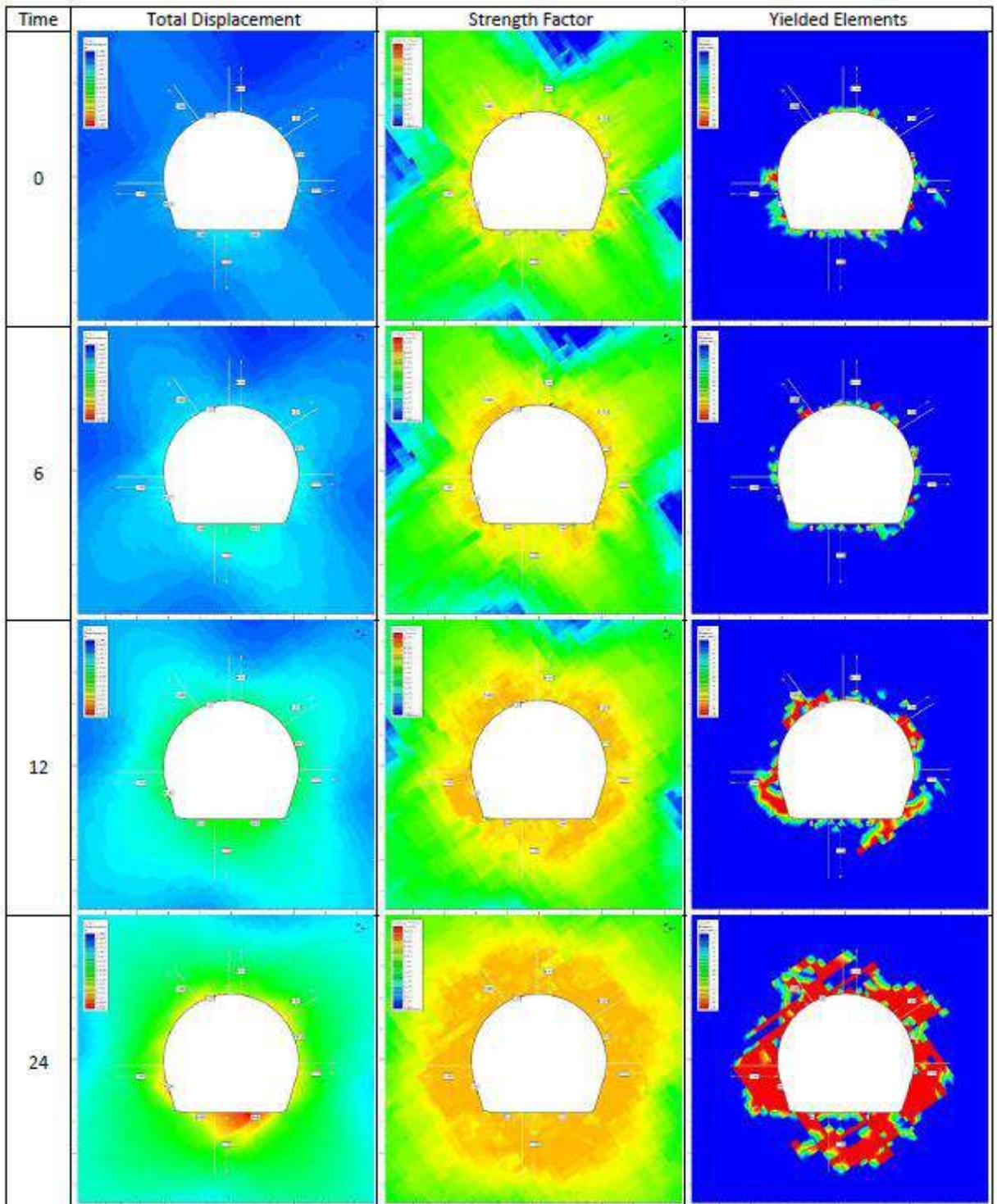
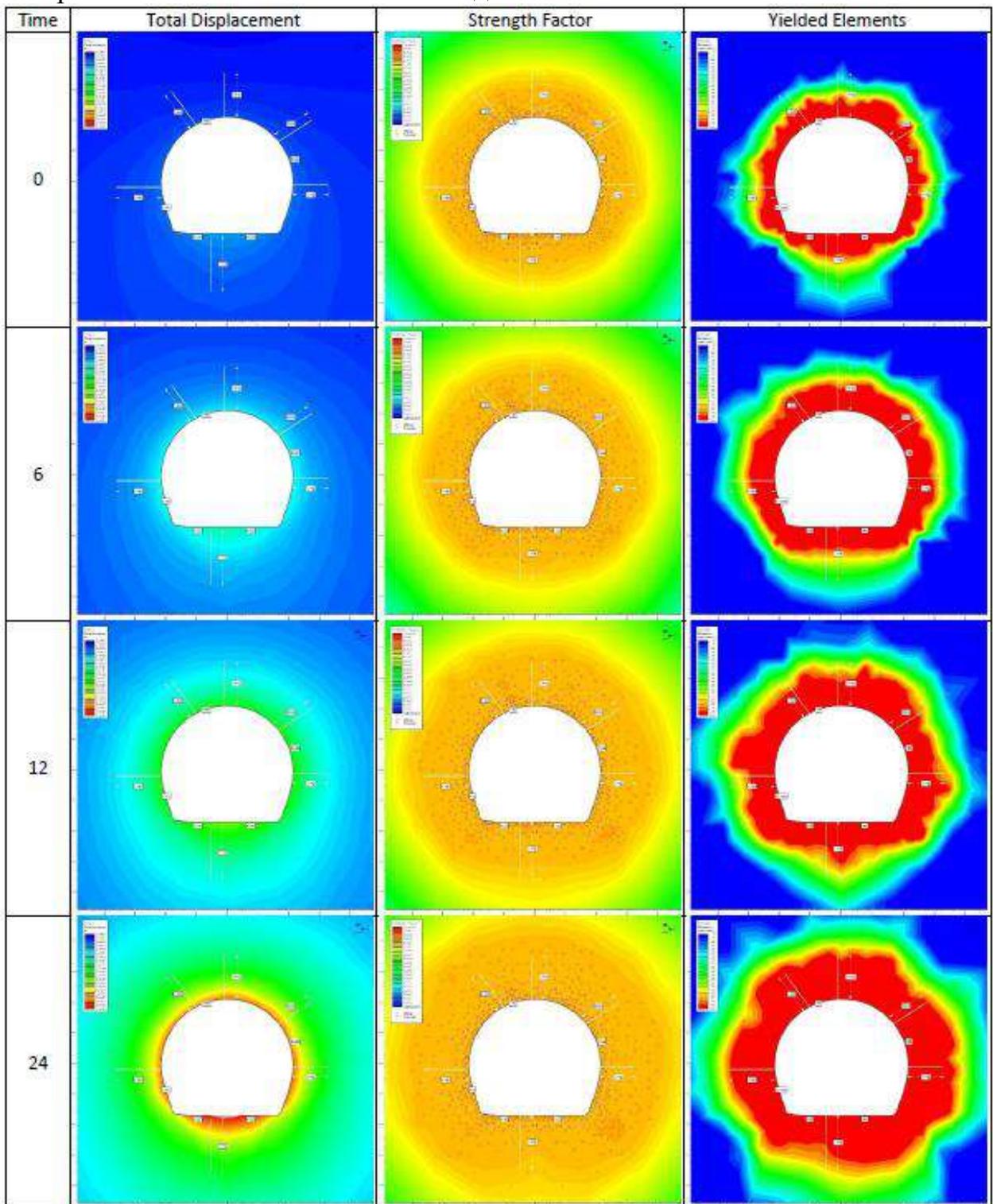


Таблица 3.12. Результаты моделирования НДС приконтурного анизотропного массива с величиной индекса GSI=70



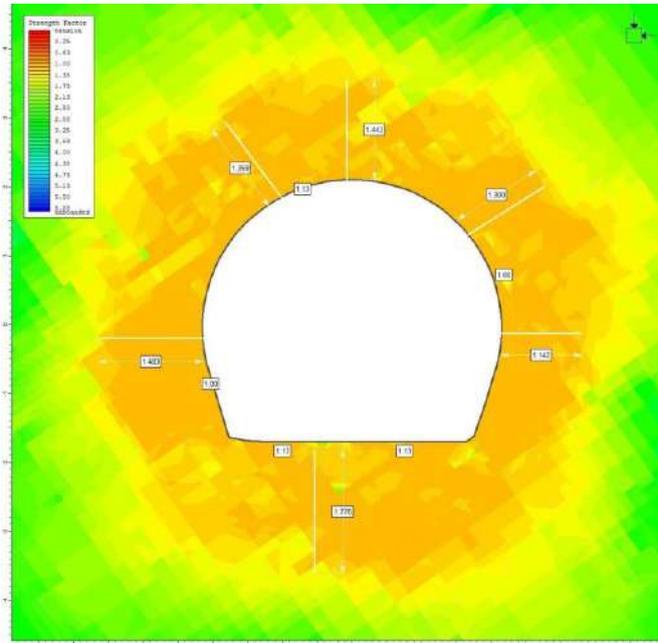


Рисунок 3.10. Strength Factor по анизотропной модели через 24 часа

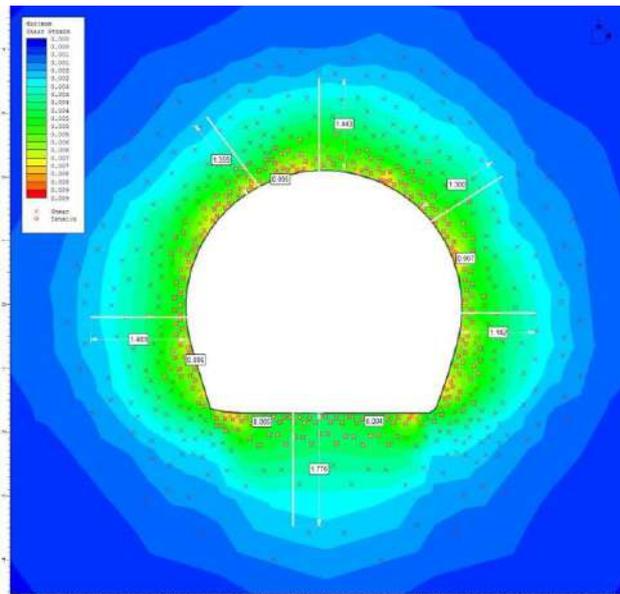


Рисунок 3.11. Максимальные сдвиговые деформации по изотропной модели (GSI=70) через 24 часа

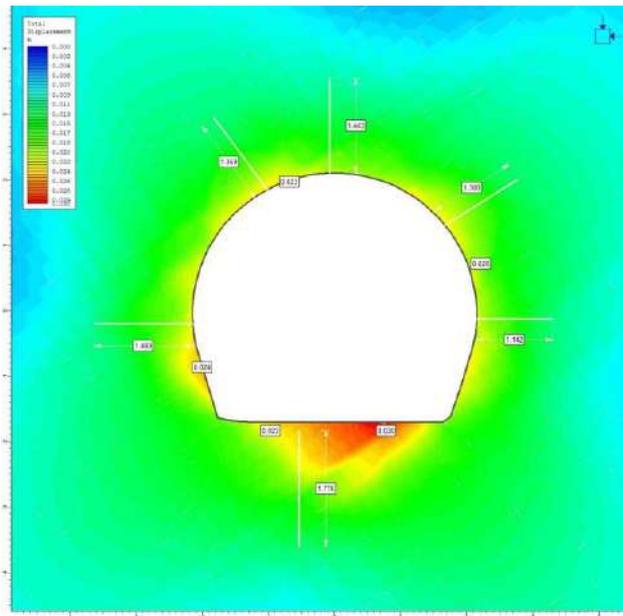


Рисунок 3.12. Смещения по анизотропной модели через 24 часа

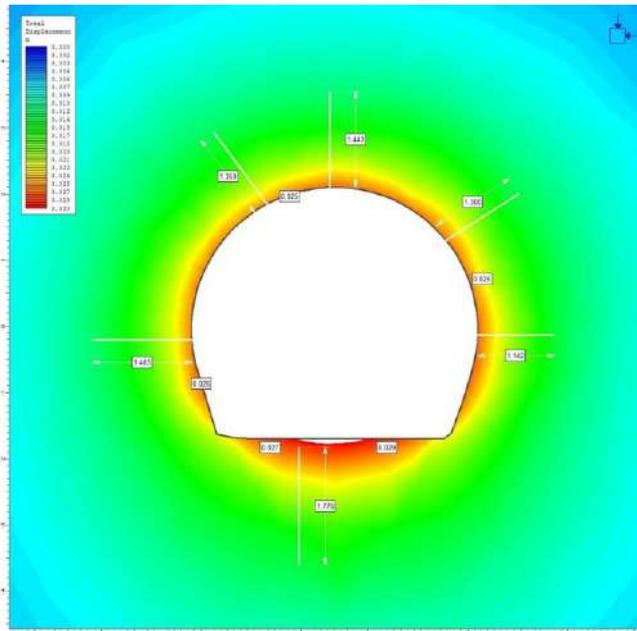


Рисунок 3.13. Смещения по изотропной модели (GSI=70) через 24 часа

При калибровке изотропной модели по смещениям анизотропной модели значение GSI получилось 70, что соответствует хорошему качеству массива (RQD=75...90) и систематической нарушенности тремя (плюс случайные) системами трещин. Что в целом соответствует действительности (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14. Фото характерного состояния массива в груди забоя выработки

При этом в границах шахтного поля встречаются зоны с более низким значением GSI.

На рисунках 3.15 и 3.16 представлен пример расчета НДС в окрестности горной выработки для $GSI=50$, что соответствует качеству массива от среднего до хорошего ($RQD=50...90$) и нарушенности четырьмя и более системами трещин.

Размер неустойчивой зоны вокруг выработки в этом случае составляет 5,5 м при максимальных смещениях контура выработки 180 мм.

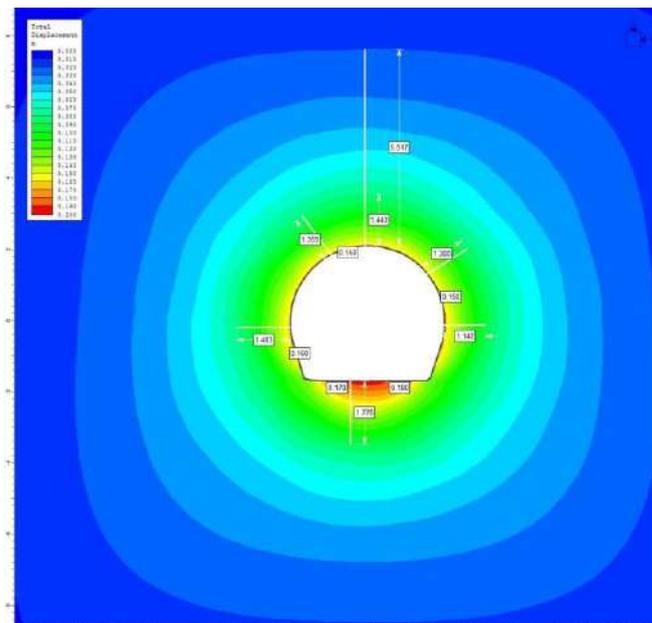


Рисунок 3.15. Смещения по изотропной модели ($GSI=50$) через 24 часа

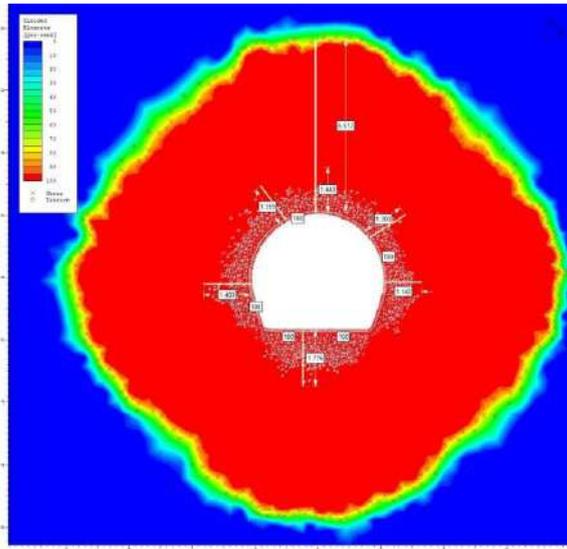


Рисунок 3.16. Yielded Elements по изотропной модели (GSI=50) через 24 часа

Распределение смещений по контуру выработки по анизотропной модели представлено на рисунке 3.17.

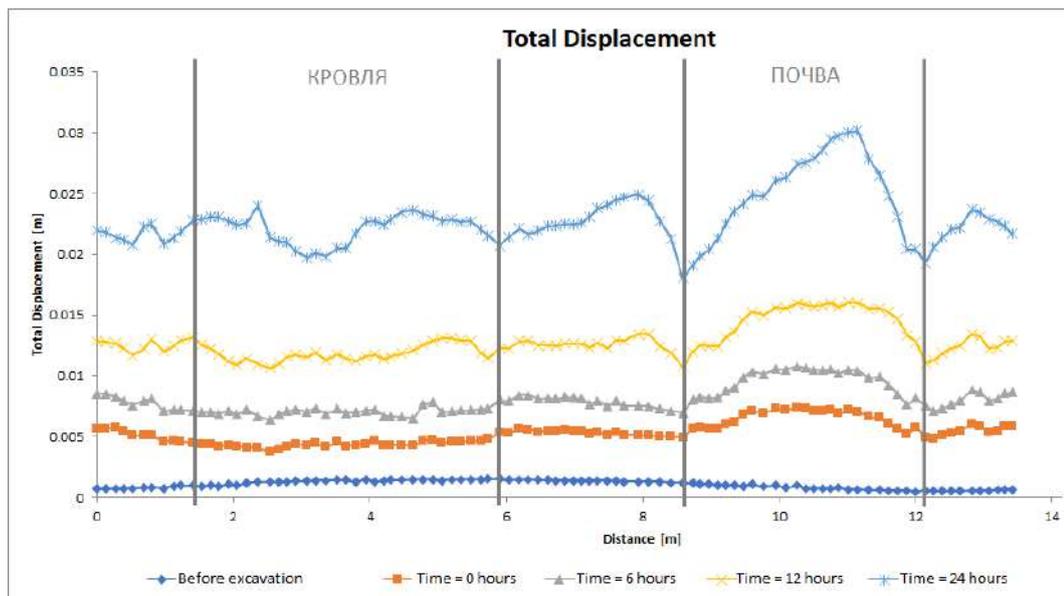


Рисунок 3.17. Распределение смещений по контуру выработки по анизотропной модели

Значения средних смещений на контуре выработки представлены в таблице 3.13.

Также в программе Proock выполнено численное моделирование НДС методом конечно-дискретных элементов (МКДЭ) (таблица 3.14, рисунок 3.18).

Таблица 3.13. Значения средних смещений на контуре выработки

Время измерения, ч	Среднее смещение на контуре выработки, мм	
	GSI=70	GSI=50
t		
0	5	24
6	8	50
12	13	94
24	23	164

Таблица 3.14. Количество шагов расчета

Стадия	0	1	2	3
Время после проходки, ч	-	6	12	24
Макс. номер шага расчета	20 000	600 000	2 800 000	7 200 000

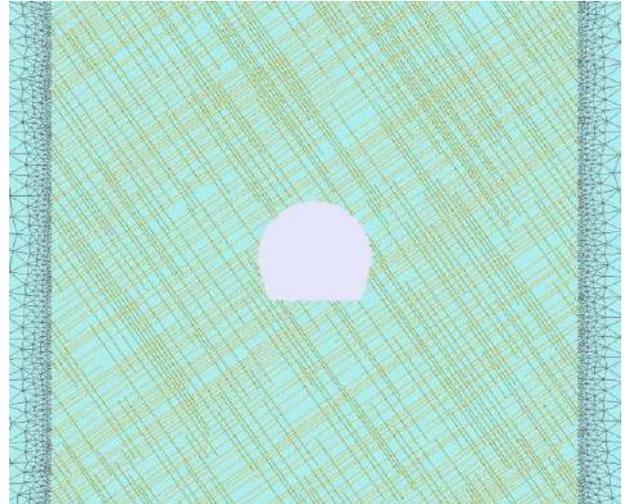
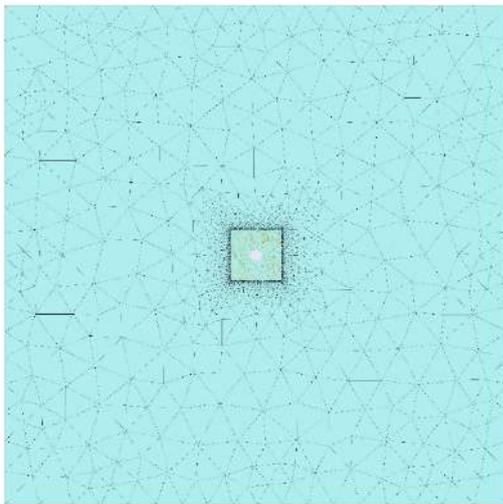


Рисунок 3.18. Внешний вид модели перед расчетом

Результаты моделирование НДС МКДЭ представлены на рисунках 3.19-3.23. Дифференциальные напряжения показывают процесс вывалообразования. Синим цветом отображены элементы с наименьшими дифференциальными напряжениями, большие синие участки соответствуют обособившимся от напряженного массива блокам породы.

В нижней части и бортах выработки блоки какое-то время остаются устойчивы за счет остаточного трения, при этом имеют место незначительные деформации в результате напряжений.

Размеры вывалов по стадиям в зависимости от времени после проходки показаны в таблице 3.15.

Таблица 3.15. Увеличение глубины вывалов по стадиям

Стадия	1	2	3
Время после проходки, ч	6	12	24
Глубина вывала от начальной границы выработки, м			
Кровля	0,52	0,88	1,25
Левый борт	0,87	0,84	1,45
Правый борт	0	0,88	0,84
Кровля	0,52	0,88	1,25

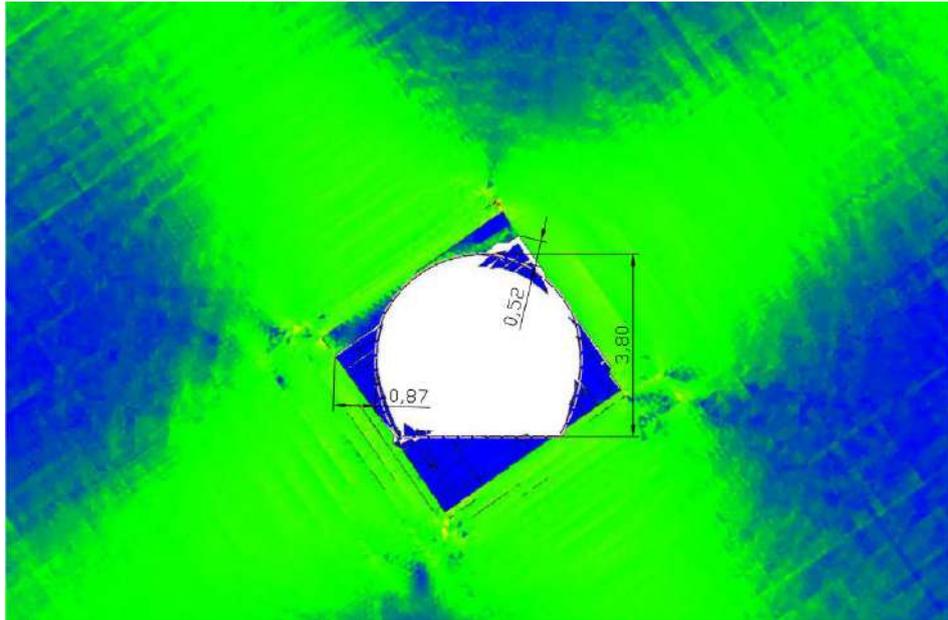


Рисунок 3.19. Дифференциальные напряжения и размеры вывалов через 6 часов после проходки

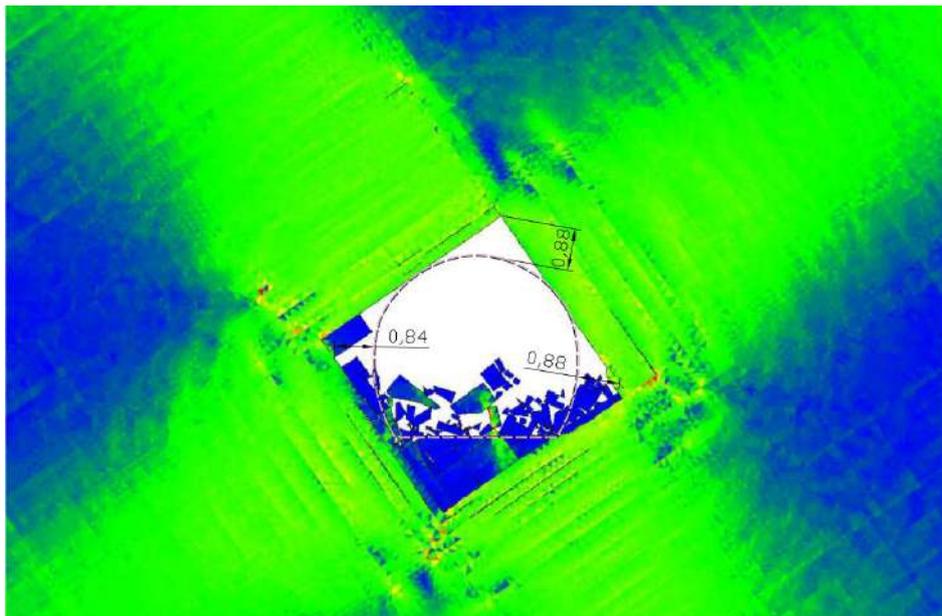


Рисунок 3.20. Дифференциальные напряжения и размеры вывалов через 12 часов после проходки

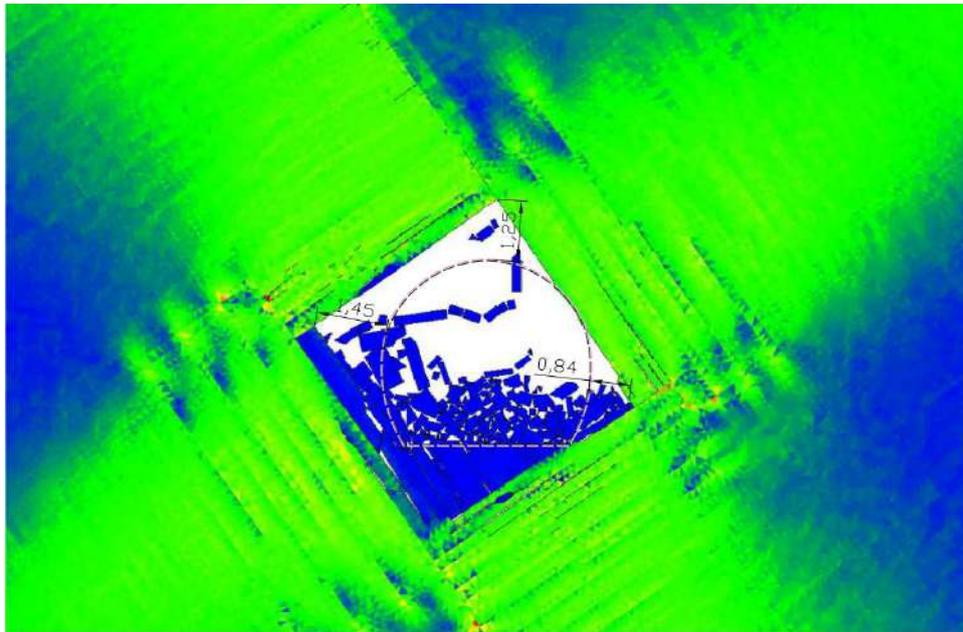


Рисунок 3.21. Дифференциальные напряжения и размеры вывалов через 24 часа после проходки

На рисунке 3.22 представлен вариант расчета для ослабленного массива с $GSI=50$ для 3 стадии – через 24 часа после проходки.

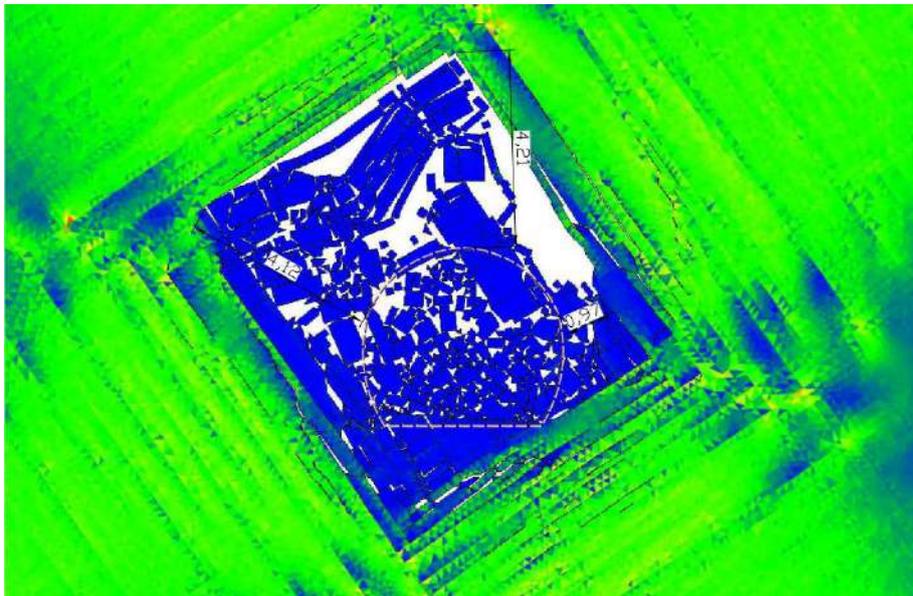


Рисунок 3.22. Дифференциальные напряжения и размеры вывалов через 24 часа после проходки

На рисунке 3.23 показано, на каком расстоянии от исходных границ выработки происходит запредельное деформирование.

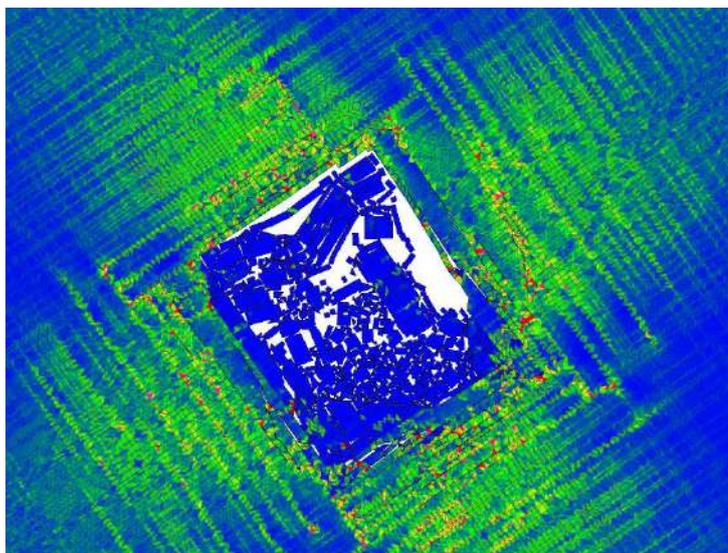


Рисунок 3.23. Дифференциальные напряжения и размеры вывалов через 24 часа после проходки

Деформации разрушения по трещинам происходят на расстоянии 5,6 м по кровле с остатком смещения 20 % и менее. На удалении 7,5 м по кровле деформации с остатком смещения до разрушения достигают 50 % и более. Этот процент представляет собой аналог запаса прочности (или КЗУ) для трещинных элементов, находящихся в запредельном состоянии деформирования.

В таблице 3.16 приведено сравнение полученных величин размеров зоны неупругих деформаций.

Таблица 3.16. Увеличение глубины вывалов по стадиям

Геологический индекс прочности массива GSI	70	50
Глубина вывала от начальной границы выработки, м	1,25	4,21
Размер зоны неупругих деформаций, м	1,7	5,5
Отношение глубины вывала к размеру зоны, %	74	76

Результаты показывают, что на границе зоны неупругих деформаций массив имеет запас прочности в среднем 25 % (КЗУ=1,25).

В реальных условиях часто наблюдается плотное расположение трещин. Трещины параллельны, расстояние между трещинами варьируется от миллиметров до дециметров. Зона трещиноватости (нарушенности) распространяется на несколько метров, где следует ожидать вывалов пород и их обрушения, а также стрельаний – горных ударов. Взрыв поверхности сопровождается частыми

хрупкими щелкающими звуками. Период течения горного удара составляет, как правило, не более нескольких часов, но звуки разрывов периодически доносятся из глубины окружающего массива пород.

Поверхностно-параллельные трещины образуются в зонах перенапряжения, где касательное напряжение распределяется относительно равномерно. В областях с большим градиентом напряжения, например, в вершине вывала, трещины расположены близко друг к другу в центре концентрации напряжения и расходятся наружу.

Поверхностно-параллельная трещина в горной породе образуется под действием сжимающих касательных напряжений, но имеет растягивающий характер. Принято, что напряжение зарождения трещины составляет 40-60 % от пиковой прочности σ_p , а напряжение разрушения трещины составляет 70-90 % от σ_p .

Проведены испытания на одноосное сжатие образцов гранита. Образцы испытывали при различных условиях нагружения: монотонное нагружение, циклическое нагружение с выдержкой времени между циклами нагружения и циклическое нагружение с выдержкой при предельной нагрузке каждого цикла. Кратковременная пиковая прочность образца гранита при монотонной нагрузке составила 260 МПа. При циклическом нагружении прочность ниже – от 215 МПа до 251 МПа.

Образец гранита испытывался при нагрузке 64 МПа, 114 МПа, 167 МПа и 215 МПа, что соответствует 25 %, 44 %, 64 % и 82 % пиковой прочности породы σ_p , соответственно. На рисунке 3.25 показаны изменения показателей акустической эмиссии (АЭ), зарегистрированные в течение времени выдержки (1 ч) при четырех уровнях нагрузки. АЭ выше порога (48 дБ) исчезали сразу после прекращения нагрузки и удержания нагрузки на уровне 25 %. Удерживаясь на уровне 44 % от σ_p , АЭ продолжалась, но примерно через 2000 с затухала до заметно низкого уровня (рисунок 3.25 б). Удерживая на уровне 64 % от σ_p , АЭ продолжалась и оставалась активной в течение времени удержания (рисунок 3.25, в). Удерживая на уровне 82 % от σ_p , АЭ увеличивалась со временем и окончательно затухала примерно через

300 с с момента начала выдержки (рисунок 3.25, г). Результаты замеров АЭ показывают, что:

- 1) макроскопическое разрушение при растяжении может произойти, когда нагрузка составляет 40-50 % от σ_p при длительном нагружении, поэтому утверждение, что долговременная прочность породы составляет примерно 50 % от σ_p , является обоснованным;
- 2) разрушение ускоряется, когда нагрузка находится на уровне выше 80 % от σ_p .

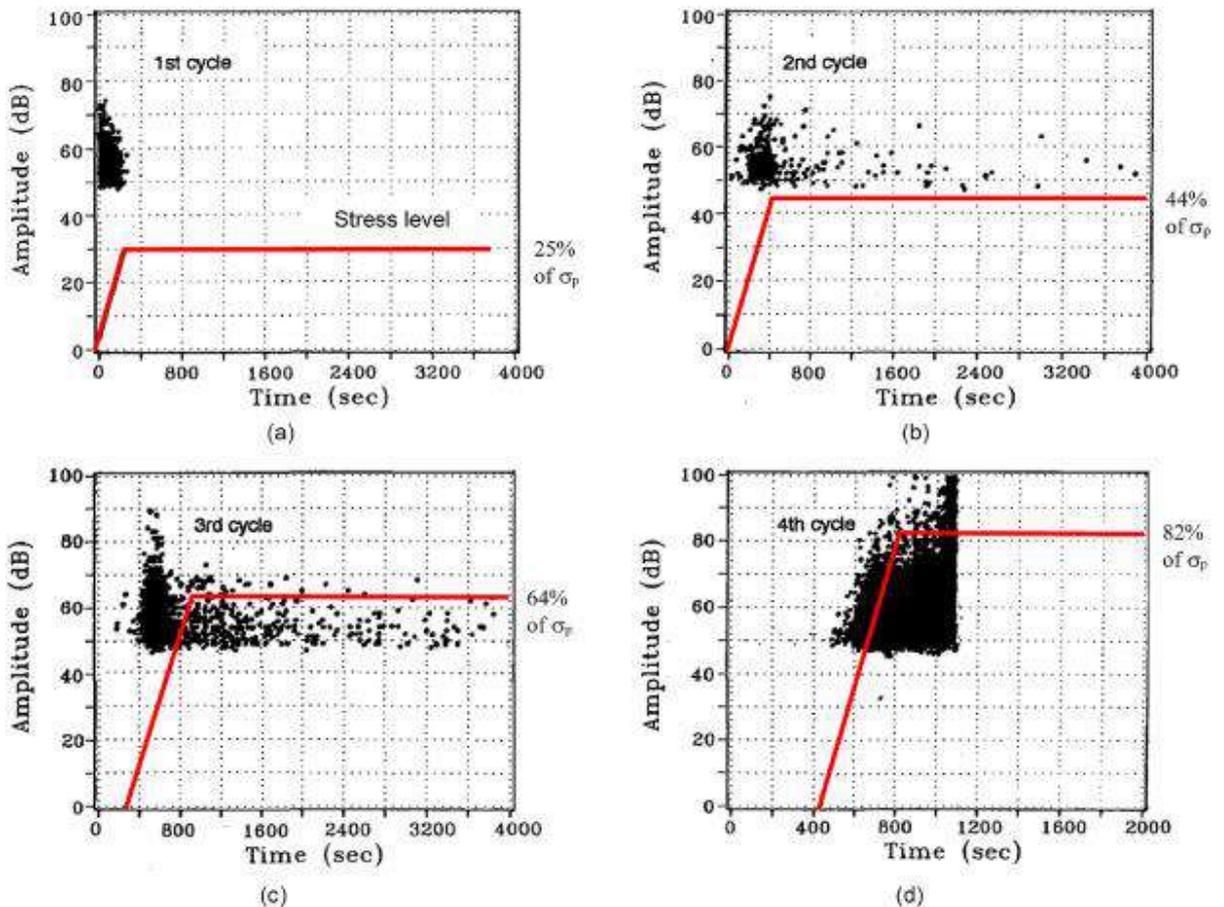


Рисунок 3.25. Акустическая эмиссия, зарегистрированная на образце гранита, в зависимости от времени при различных уровнях приложенной нагрузки: а – 25 %; б – 44 %; в – 64%; г – 82 % от σ_p

Окружающая выработку порода находится в условиях длительного нагружения в области, более чем в 2 раза превышающей диаметр выработки. В области непосредственно за забоем до расстояния, примерно в 2 раза превышающего диаметр выработки, увеличение нагрузки в окружающей породе составляет несколько часов или дней в зависимости от скорости проходки. Условия

нагрузки в этой области не относятся ни к кратковременным, ни к долговременным, как в области далеко за забоем. По сути, это среднесрочная нагрузка. Порода в области непосредственно за забоем может подвергнуться разрушению при растяжении (выкрошиванию) и даже разрыву при деформации, когда уровни нагрузки превышают длительную прочность. Соответственно, отставание крепи после проходки должно регулироваться временем поддержания массивом его естественной устойчивости.

При разрушении твердой породы энергия напряжения, накопленная в породе, резко высвобождается, чтобы вытолкнуть породу. Горный удар часто возникает сам по себе, когда касательное напряжение в окружающей породе достаточно велико, но оно также может быть вызвано сейсмическим возмущением, когда касательное напряжение немного меньше предела разрушения. В этих случаях интенсивность горного удара, в основном, связана с энергией деформации, высвобождаемой из породы. Обломки породы обычно представляют собой тонкие пластины с острыми краями или сильно раздробленные мелкие кубические осколки.

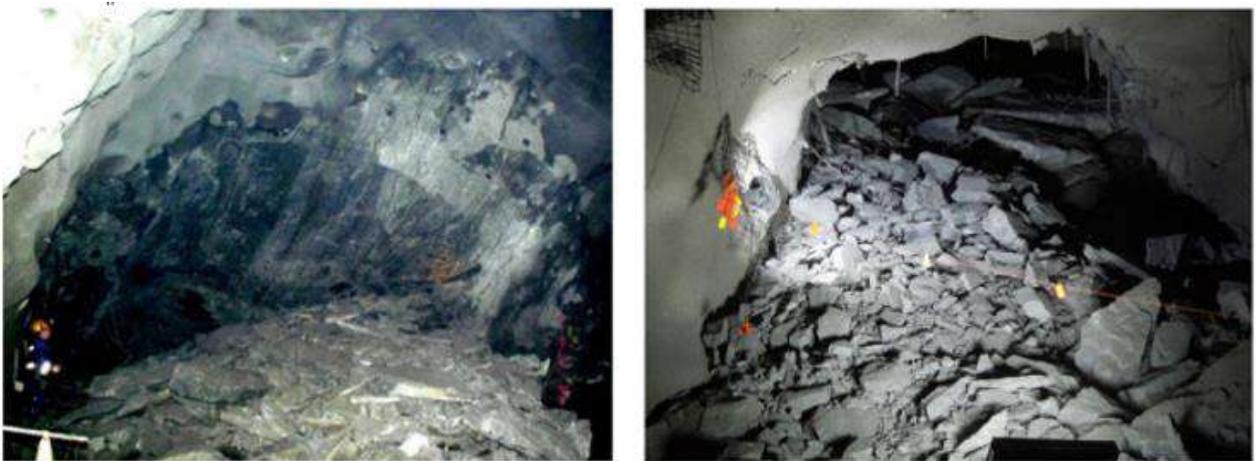


Рисунок 3.26. Вывалы пород в результате горного удара

Горный удар, вызванный смещением разлома, может быть более мощным, чем взрыв напряжения из-за значительного количества энергии, поступающей от сейсмических волн.

В массиве горных пород с креплением общее количество выделяемой энергии рассеивается за счет разрушения породы и системы крепи, а также

выбросом горной породы в случае выхода из строя системы крепи. Для исключения выброса горной породы необходимо, чтобы поглощение энергии крепью превышало остаточную высвобождаемую энергию после разрушения.

Следует отметить, что системы опорной и поддерживающей крепи с прочными поверхностно-удерживающими связями благоприятны для увеличения рассеивания энергии при разрушении горных пород. Показанная на рисунке 3.27 система крепи, выдержала несколько небольших ударов горных пород в результате сейсмического смещения разлома.



Рисунок 3.27. Система крепления пород, состоящая из армокаркасов, сеток и анкеров

При борьбе с горными ударами требуется, чтобы система крепи, с одной стороны, обладала высоким сопротивлением для сдерживания смещения горных пород, а с другой стороны, должна быть деформируемой для рассеивания определенного количества энергии деформации. Следовательно, все опорные устройства в системе крепи должны быть деформируемыми, а упрочняющие несущие элементы, такие как анкеры, должны быть прочными.

Исследованиями Еременко В.А. установлено, что в крепких скальных породах анкеры рассеивали энергию $\sim 75\%$ от общей энергии, рассеиваемой опорными устройствами, а сетка – $\sim 25\%$. В слабых мягких породах анкеры рассеивали $\sim 30\%$, а сетка – $\sim 70\%$ энергии разрушения.

Различные типы и конструкции опорных элементов крепи опробованы в практике крепления сильнодеформируемых массивов и борьбы с горными ударами

в последние десятилетия. Наиболее подходящими являются энергопоглощающие устройства, которые могут как нести высокие нагрузки, так и значительно смещаться. Иными словами, они могут рассеивать значительное количество энергии.

Традиционные методы обеспечения устойчивости горных пород заключаются в установке жестко закрепленных анкерных стержней в горном массиве и применении набрызгбетона или монолитного бетона на поверхности обнажаемых пород. В такой системе крепления жесткие внутренние арматурные элементы (анкеры) могут выйти из строя после небольшой деформации, но гибкие внешние поддерживающие устройства (бетонная крепь) могут выдерживать относительно большие деформации породы из-за устройств податливости, встроенных в бетонную облицовку (сетка).

Таким образом, внутренние и внешние устройства в системе поддержки несовместимы по деформируемости. В подземных горных работах часто используются анкерные болты и сетки для предотвращения чрезмерной деформацией горных пород. Опорная нагрузка в основном ложится на анкеры, а сетка сдерживает расширение породы на поверхности. В такой системе крепи кажется, что внутренняя арматура (анкерные болты) и внешнее поддерживающее устройство (сетка) совместимы по деформируемости, но несущая способность сетки в существующих шахтных крепях очень низкая.

На основе проведенных исследований наиболее целесообразно для обеспечения устойчивости использование конструкций на основе фрикционных анкеров СЗА [49,50,63].

В системе крепления «фрикционный анкер + армокаркас + набрызгбетон» каждый элемент выполняет свою функцию обеспечения устойчивости. Общая работоспособность определяется условиями работы крепи: в целях поддержания интенсивности проходки и предотвращения накопления напряжения на контуре выработки могут устанавливаться системы «СЗА+армокаркас», далее – с отставанием набрызгбетон. В результате анкер является податливым, и конструкция «армокаркас + бетон» становится жесткой обделкой. При горных

ударах система может дополниться очередным слоем набрызгбетона с сеткой. В слабых неустойчивых породах принцип крепления аналогичен, и система крепи в зависимости от порядка установки элементов воспринимает и компенсирует нагрузки вслед за проходкой: первый защитный слой набрызгбетона предотвращает процесс изменения пород, далее СЗА-Армокрепь начинает воспринимать нагрузки в зоне опорного давления; второй слой набрызгбетона приводит систему в жесткий режим работы с некоторой податливостью; последний этап в случае необходимости – сетка с третьим слоем набрызгбетона. В мягких породах, типа солей, фрикционный анкер имеет возможность усиления и работы в режиме формирования прочного замка вне зоны естественного равновесия. Как правило, в обычных случаях проявления горного удара в скальных прочных породах система «СЗА-Армокрепь» позволяет компенсировать нагрузки, т. е. крепь работает в режиме энергопоглощения. При креплении нарушенных блочных массивов также СЗА в совокупности с армокаркасом создает временную устойчивость и предотвращает куполообразование (вывалы) в рабочем пространстве выработки до возведения набрызгбетона.

По результатам наблюдений в течение двух месяцев на Артемовском и Орловском рудниках Востокцветмет Республики Казахстан за закрепленными участками установлено, что испытываемый способ крепления обеспечивает устойчивость пород кровли и бортов выработок. Цель испытаний – пересмотр технологического подхода к креплению и уточнение параметров комбинированной крепи для условий пород IV категории устойчивости – неустойчивых (по классификации СНиП).

3.3. Исследование физических характеристик элементов крепи

Конструкция усиленных вариантов исполнения крепи включает: анкеры СЗА, армокаркас, сетку, набрызгбетон. Все элементы должны удовлетворять соответствующим стандартам и требованиям.

Для определения грузонесущих характеристик проведен комплекс соответствующих исследований с соблюдением требований ГОСТов.

В результате проведенных испытаний установлено, что временное сопротивление материала стержня анкеров СЗА составляет 437,12-439,73 МПа (≥ 410 МПа), что соответствует требованиям ГОСТ 31559–2012.

Определение относительного равномерного удлинения выполнено на образцах с начальной расчетной длиной 100 мм. Относительное равномерное удлинение δ_p определено на большей части разрушенного образца, отстоящем не менее, чем на 6 мм от места разрыва. Начальную длину расчетного участка l_{np} определяли по количеству меток на расчетном участке и начальному расстоянию между ними.

Испытания на прочность образцов стержней анкеров представлены на рисунках 3.28, 3.29.

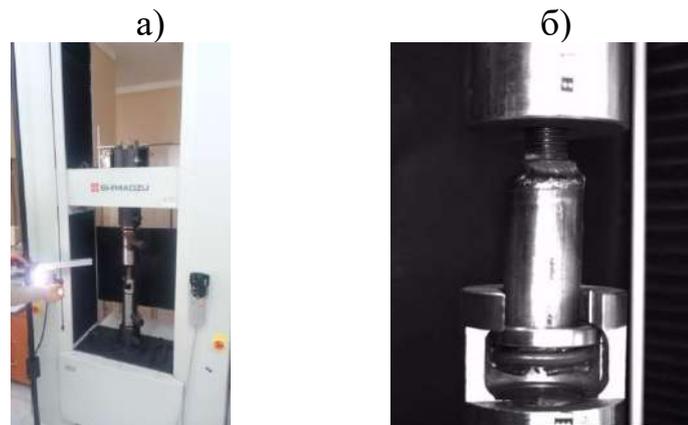


Рисунок 3.28. Установка СЗА в разрывной машине: а – общий вид; б – оснастка



Рисунок 3.29. Вид СЗА в разрывной машине: а - до нагружения; б - после процесса нагружения

Результаты испытаний представлены графически на рисунке 3.30.

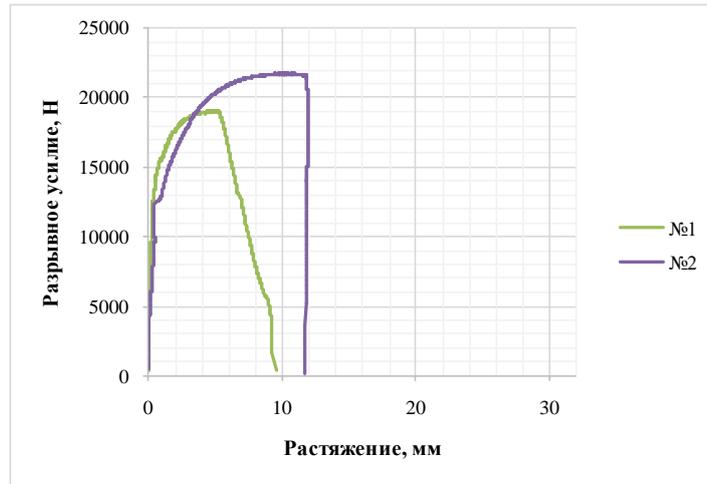


Рисунок 3.30. График зависимости разрывного усилия материала СЗА от растяжения.

На рисунке 3.31 представлен характер разрушения опорного узла анкера СЗА, в таблице 3.18 – величины предельных усилий.

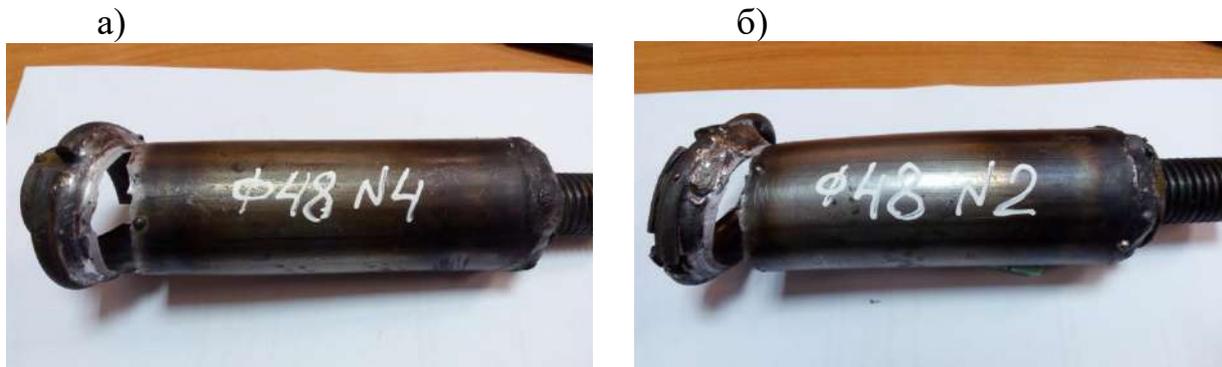


Рисунок 3.31. Вид опорного узла СЗА после разрушения: а – без развальцовки; б – с развальцовкой

Таблица 3.18. Результаты исследования нагрузочных характеристик опорного узла анкера СЗА

Образец	Максимальное усилие, Н
СЗА Ø48 - 1 (развальцованный)	119822,0
СЗА Ø48 - 2 (развальцованный)	116297,0
СЗА Ø48 - 1 (без развальцовки)	106959,0
СЗА Ø48 - 2 (без развальцовки)	109725,0

Исследование несущей способности опорного узла анкера СЗА Ø 48 мм

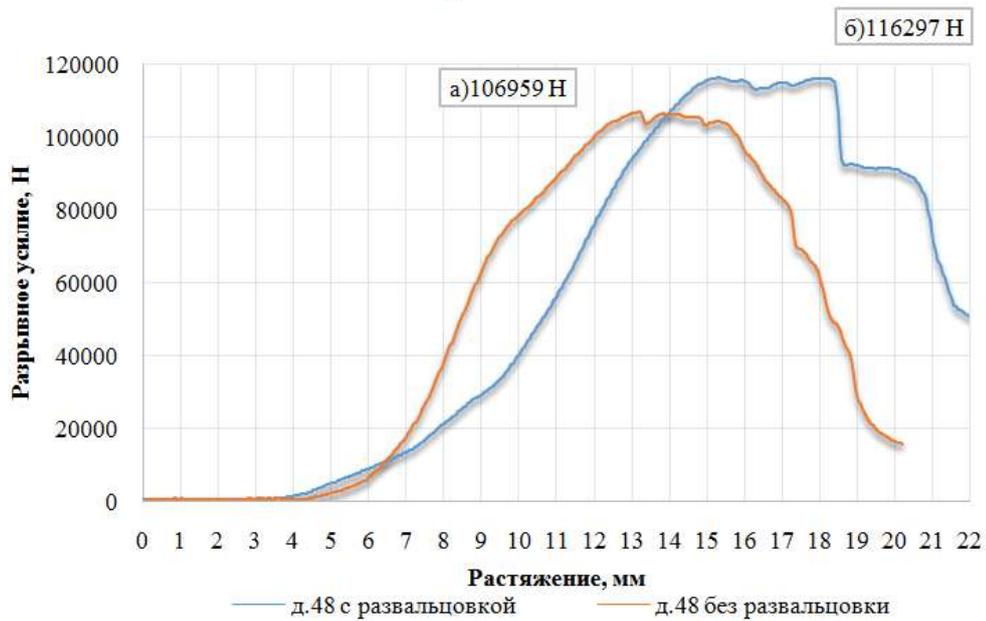


Рисунок 3.32. График зависимости несущей способности опорного узла СЗА от растяжения с развальцовкой и без развальцовки

Результаты испытаний показали:

- 1) значения прочности на разрыв находятся в диапазоне от 106 кН до 120 кН;
- 2) разрывное усилие образцов с развальцовкой превышает значения образцов без развальцовки в среднем на 25-30 %.
- 3)

Также проведен комплекс лабораторных исследований прочностных характеристик армокаркасов (рисунки 3.33-3.37).

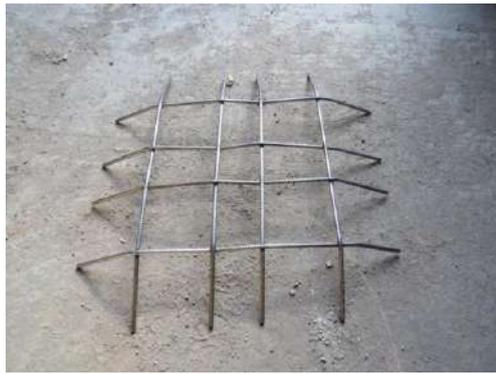


а



б

Рисунок 3.33. Подготовка к испытаниям: образец (а) установка образца в разрывной машине (б)



а



б



в

Рисунок 3.34. Подготовка к испытаниям: а – образец; б – установка образца на испытательном стенде; в – выставление лазерного уровня (красная линия)

а)



б)

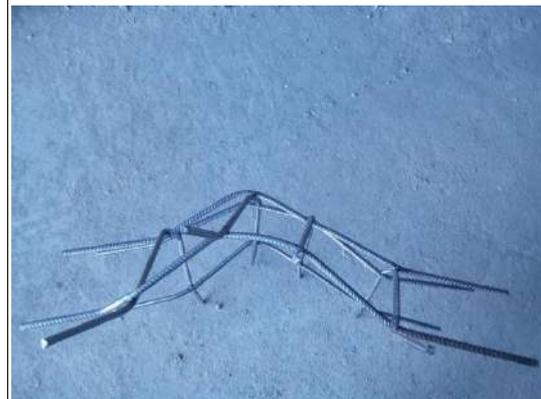


Рисунок 3.35. Вид образца после проведения испытания: а – на испытательном стенде; б – после демонтажа из испытательного стенда

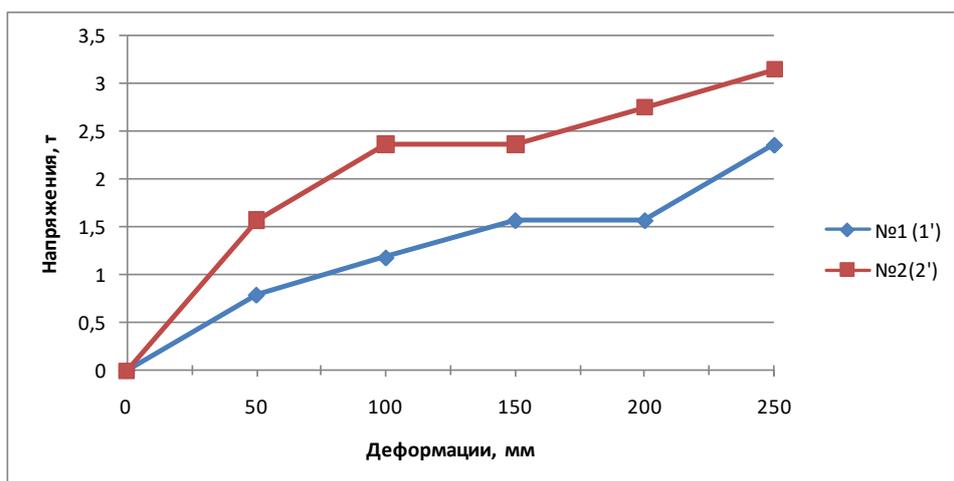


Рисунок 3.36. График зависимости напряжений от деформаций

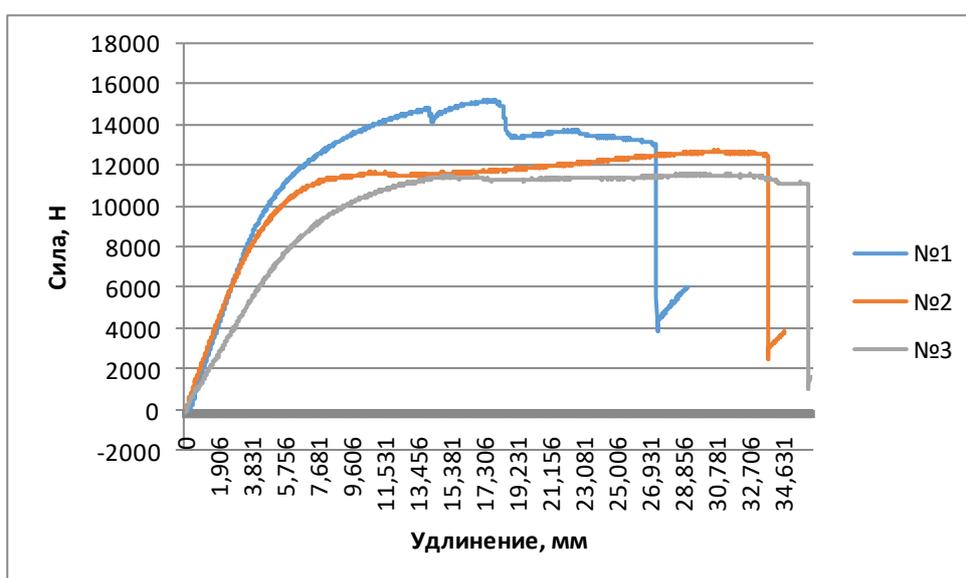


Рисунок 3.37. График зависимости силы от удлинения

После демонтажа армокаркасов проводились контрольные замеры остаточных (пластических) деформаций от исходных значений.

По результатам проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1) в образцах армокаркасов, закрепленных по 4 точкам, при нагружении не произошло разрушение в узлах сварного шва, при закреплении в 8 точках – разрушение в узлах сварного шва произошло при значении напряжений 2,75-3,0 т;

2) предельных значений деформации 250 мм представленные образцы достигли при следующих значениях напряжений:

- при закреплении в 4 точках – 2,36 т;
- при закреплении в 8 точках – 3,14 т.

При выполнении лабораторных испытаний производилось: определение механической прочности и химической стойкости, выявление сопротивления коррозионным воздействиям, как при наличии искусственно создаваемых в лаборатории условиях на модельной воде, так и в условиях натуральных испытаний при использовании воды с рудника.

Лабораторные испытания механической прочности и химической стойкости к статистическому воздействию жидкостей и соляному туману проводились на специально подготовленных пластинках, размерами 100 на 150 мм, толщиной 0,9-1 мм.

После химической подготовки поверхности образцы анкеров и пластинок покрывались порошковой покраской электростатическим методом и затем направлялись в печь полимиризации для создания прочной, коррозионно стойкой полимерной пленки.

Таким образом, химически подготовленные и покрашенные эпоксиполиэфирной краской образцы пластинок и анкеров использовались для проведения серии лабораторных исследований.

Перед проведением испытаний подготовленные образцы выдерживались в течение трех суток в лабораторных условиях при температуре $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не более 80 % без прямого попадания света для завершения формирования целостности покрытия.

Первоначально проводились испытания механической прочности лакокрасочного покрытия СЗА. В связи с тем, что при установке в шпурь анкера подвергаются различного рода деформациям: ударно-вибрационным воздействиям, истиранию, на них действуют силы сжатия и растяжения, полимерное антикоррозионное покрытие анкеров должно максимально возможно сохранять свои свойства. К основным исследуемым показателям механической прочности лакокрасочного покрытия относятся его толщина, адгезия к поверхности металла, прочность при ударе.

Толщину покрытия определяли по межгосударственному стандарту ISO 2808:2007. Замеры производились неразрушающим магнитным

толщиномером CM-8826FN в трех местах СЗА, как показано на рисунке 3.38. Для средне- и сильноагрессивных сред толщина покрытия должна быть в диапазоне от 160 до 240 мкм. Средняя толщина краски на основе эпоксидных смол составляет 206 мкм, что соответствует всем требованиям нормативных документов.



Рисунок 3.38. Определение толщины лакокрасочного покрытия

Адгезию определяли по межгосударственному стандарту ISO 2409:2013 методом решетчатых надрезов. Этот метод испытаний проводится для оценки устойчивости лакокрасочных покрытий к отслоению от окрашиваемой поверхности.

Надрезы формировали однолезвиевым режущим инструментом по сетке в количестве 6 штук, перпендикулярно друг к другу, с расстоянием между надрезами 2-3 мм.

Испытание проводилось в трех точках поверхности пластины. За результат испытания принимались значения адгезии в баллах, соответствующих большинству совпадающих значений, при этом расхождения между значениями не должно превышать 1 балл.

Все пластины выдержали испытание, значение адгезии составило 0 баллов (все края надрезов гладкие, ни один из квадратов в решетке не отслоился) по 6-бальной шкале классификации адгезии.

Прочность покрытия при ударе определяли по межгосударственному стандарту ISO 6272:2002. Этот метод используется для оценки быстрой деформации покрытия в результате растрескивания и отслаивания лакокрасочного

материала от окрашиваемой поверхности. Метод основан на разрушении целостности полимерного покрытия испытываемой пластины при действии на нее падающего груза со сферическим бойком, диаметром 20 мм и массой 1 кг.

Эксперимент проводился на приборе для испытаний на прочность лакокрасочного покрытия при ударе. Конструкция прибора включала подставку, направляющую трубу, подающий груз, ограничитель, прижимающую муфту, наковальню и саму испытываемую пластинку.

Груз устанавливался на высоте 30-60 см от пластинки. Затем происходило освобождение груза и его падение на испытываемую пластинку, лежащую на наковальне. В результате исследования отмечалось наличие растрескивания покрытия на испытываемой пластинке, отслаиваемость от окрашиваемой поверхности, а также разрушение покрытия. Испытание считалось прошедшим, если пластинка выдерживает удар груза в 1 кг на высоте 60 см. Повтор испытаний производили пять раз в различных точках. Такие испытания лакокрасочных покрытий, обладающих самыми разнообразными качественными характеристиками для работы в агрессивных условиях эксплуатации, проводились путем погружения окрашенных образцов в испытательные растворы (статистическое воздействие жидкостей, как на модельной воде, так и на шахтной воде) и путем распыления насыщенного солевого раствора в камере соляного тумана.

Высокие показатели рН среды (8,5-9) шахтной воды и повышенная влажность являются одними из основных причин, способствующих деградации и разрушению лакокрасочного покрытия. Испытания в камере соляного тумана моделируют условия агрессивной шахтной атмосферы, насыщенной соляным туманом при постоянной температуре. Для приближения рН среды к рудничным условиям добавлялся 3 % раствор кальцинированной соды.

Лабораторный эксперимент в камере соляного тумана проводился на пластинках с полимерным покрытием, без надреза и с нанесенным крестообразным надрезом, в соответствии с межгосударственным стандартом ISO 9227 в течение 750 часов (рисунок 3.39).



Рисунок 3.39. Покрашенные образцы и образцы с крестообразным надрезом в камере соляного тумана

Измерялись минимальные и максимальные значения нанесенного покрытия поверхности ущерба ржавчиной. Расползание от коррозии зафиксировано не более 6 мм.

В течение 750 часов видимых признаков коррозии, отслоения краски не наблюдалось. В местах повреждения лакокрасочного покрытия распространение коррозии под краской не превышало 0,5 мм, что соответствует ISO 9227.

Результаты исследований образцов без нанесения на них крестообразного надреза показали полное отсутствие на поверхности образцов вздутий, деградаций, видимых признаков коррозионных разрушений.

Дополнительно проводились лабораторные испытания СЗА по статистическому воздействию жидкостей (рисунок 3.40-3.42), как на модельной воде, так и на шахтной воде Артемьевского рудника.

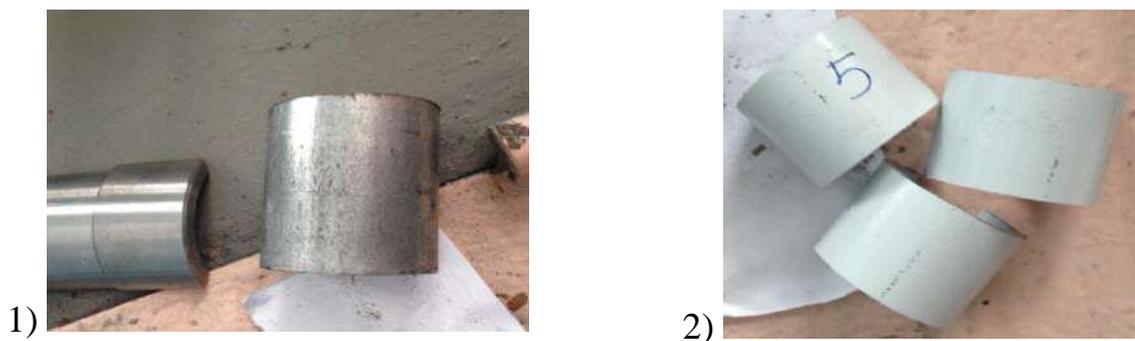


Рисунок 3.40. Состояние поверхности образцов до проведения эксперимента: 1 – без покрытия; 2 – с покрытием эпоксиполиэфирной краской

Состояние образцов без защитного покрытия после проведения эксперимента представлено на рисунке 3.41.

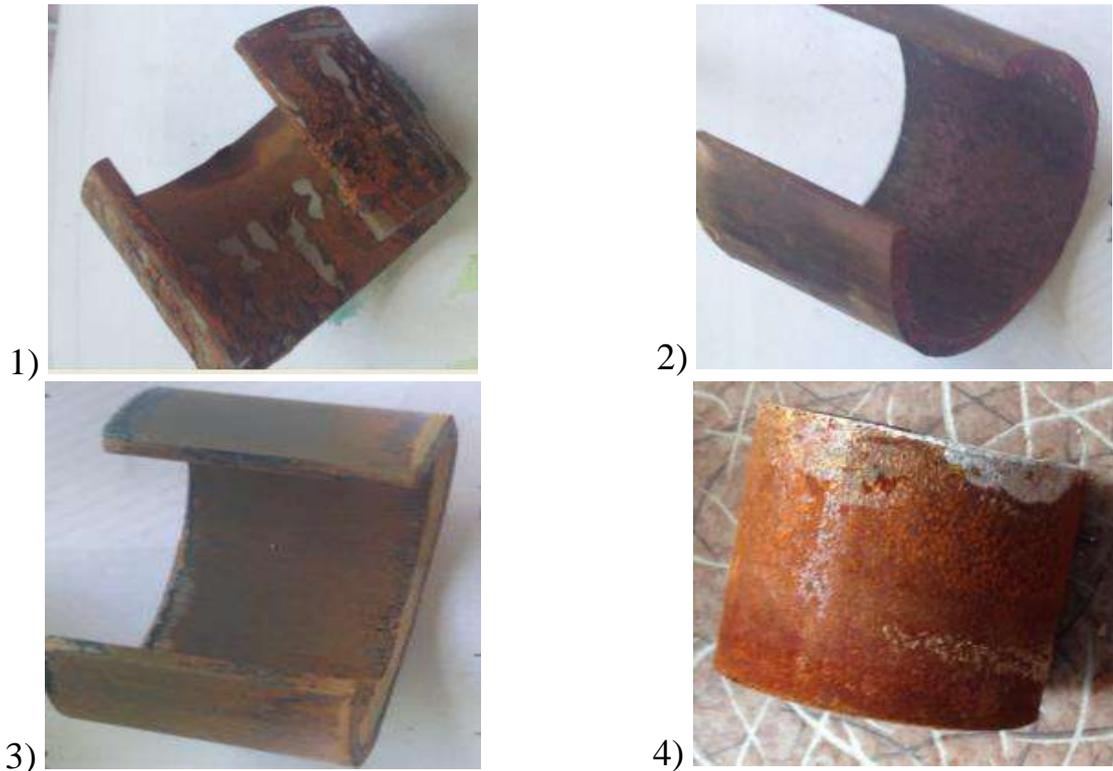


Рисунок 3.41. Состояние образцов без защитного покрытия после проведения эксперимента при воздействии: 1) технической водопроводной воды; 2) модельной кислой воды $pH = 3,5-4$; 3) шахтной воды Артемьевского рудника; 4) модельной щелочной воды $pH = 8,5-9$

После двух месяцев лабораторного эксперимента по непокрашенным образцам спилов СЗА с эпоксиполиэфирной краской при воздействии на них агрессивных сред получили данные убыли металла, представленные в таблице 3.19.

Таблица 3.19. Результаты оценки коррозии стержня без покрытия

Спилы СЗА без покрытия				
Сутки	Воздействие растворов			
	Вода	Модельная кислая вода $pH=3,5-4$	Шахтная вода Артемьевского рудника	Модельная щелочная вода $pH=8,5-9$
1	94,215	97,625	115,020	100,295
14	94,020	97,090	114,955	99,980
28	93,870	96,750	114,430	99,790
42	93,690	95,860	113,975	99,345
56	93,480	94,910	113,340	98,910
потеря массы	0,78	2,78	1,44	1,39

Результаты оценки воздействия агрессивных сред на образцы СЗА с эпоксиполиэфирной краской представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20. Результаты оценки коррозионного воздействия на образцы СЗА с эпоксиполиэфирной краской

Сутки	Воздействие растворов			
	Вода	Модельная кислая вода рН=3,5-4	Шахтная вода Артемьевского рудника	Модельная щелочная вода рН=8,5-9
1	119,760	109,060	120,360	112,330
14	119,760	108,770	120,355	112,310
28	119,760	108,485	120,345	112,305
42	119,760	108,365	120,345	112,295
56	119,755	108,190	120,330	112,285
потеря массы	0,01	0,79	0,03	0,04

Состояние образцов с покрытием на основе эпоксиполиэфирных показано на рисунке 3.42.

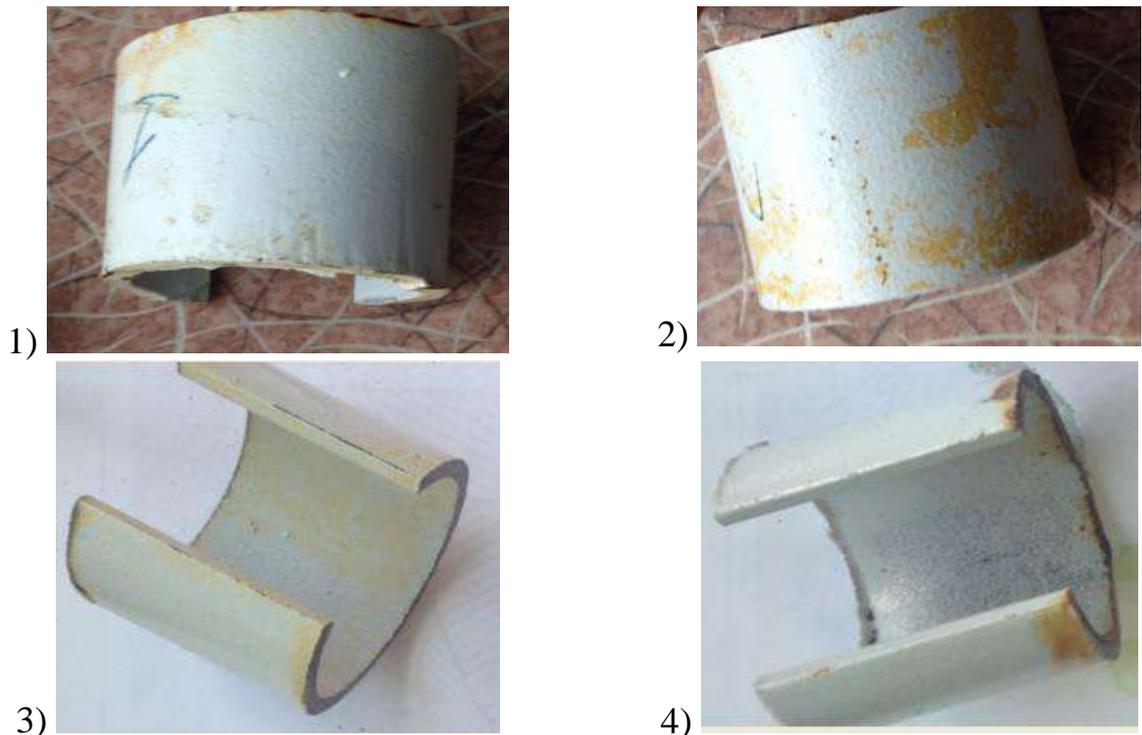


Рисунок 3.42. Состояние образцов с эпоксиполиэфирным покрытием после проведения эксперимента при воздействии: 1) технической водопроводной воды; 2) модельной кислой воды рН = 3,5-4; 3) шахтной воды Артемьевского рудника; 4) модельной щелочной воды рН = 8,5-9

На основании проведенных исследований для осуществления оперативного контроля качества выпускаемых анкеров в ООО «УралЭнергоРесурс» разработан

и утвержден ряд многочисленных лабораторных испытаний, необходимых для проверки годности и надежности продукции. Под термином «надежность» подразумевается способность самозакрепляющихся анкеров выполнять определенные функции в течение установленного периода времени в условиях агрессивной шахтной атмосферы.

3.4 Оценка воздействия динамических нагрузок на крепь

Установка комбинированной крепи в выработке решает две задачи: удержание разрыхленной и увеличившейся в объеме породной массы и распределение нагрузки между анкерами. Элементы комбинированной крепи подразделяются на основные (анкеры, сеть или торкретбетон) и вспомогательные (стяжки сетчатыми полосами). Задача основной крепи – удержать ослабленные породы, задача вспомогательной крепи – распределить нагрузку между анкерами. Оптимальной является крепь, способная решать обе задачи.

При проектировании крепи в зарубежной практике используются методы оценки устойчивости пород на основе Q-индекса Бартон. В соответствии с данной методикой одним из условий обеспечения необходимой работоспособности поверхностной торкретбетонной крепи является достаточное энергопоглощение.

Для определения показателя энергопоглощения существуют объективные сложности: данный показатель определяется, как правило, опытным путем на полигонах с использованием специализированного оборудования.

В качестве источника динамического высвобождения энергии (горного удара) рассмотрено влияние сейсмических волн от буровзрывных работ. Поскольку трещины возникли в первые сутки после крепления, динамики трещинообразования и роста существующей трещиноватости на опытном участке не наблюдалось, нарушение целостности торкрета вследствие влияния горного давления было исключено. В результате наблюдения за опытным участком зафиксировано, что разрушения происходят в поверхностном слое, при этом

первый слой, прилегающий к массиву, поверх армокаркасов, сохраняет свою целостность.

Результаты исследований показывают, что при сейсмическом воздействии взрывных работ слои торкретбетона разрушаются на границе раздела «торкрет-воздух» за счет отражения исходящей волны (рисунок 3.43).

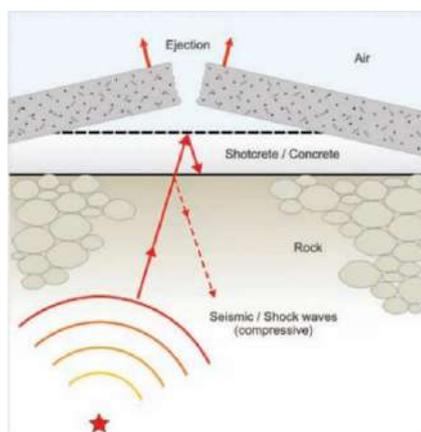


Рисунок 3.43. Схема разрушения торкретбетонного слоя в результате сейсмического воздействия

Таким образом, можно предположить, что при производстве взрыва в закрепленной комбинированной крепи выработке первый покрывающий слой торкретбетона, армированный армокаркасом испытывает меньшую нагрузку, чем второй слой, нанесенный с отставанием. Данный вывод подтверждается в период опытно-промышленных испытаний на Артемовском руднике «Востокцветмет».

Результаты исследований энергопоглощения фибро-торкретбетона в зависимости от толщины слоя покрытия показывают, что величина энергии при толщине 50, 80 и 100 мм составляет соответственно 0,02, 0,04 и 0,06 кДж.

Слой фибро-торкретбетона толщиной 60 мм обладает энергопоглощением 0,75 кДж/м², слой 80 мм – 2 кДж/м², фибро-торкретбетон толщиной 110 мм армированный сварной сеткой – 6 кДж/м², при максимальном смещении, предшествующему разрушению 60, 80 и 120 мм, соответственно. Обыкновенный бетон, прочностью 30 Мпа, обладает энергопоглощением 40 кН·мм, тот же бетон с синтетической фиброй увеличивает энергопоглощающую способность – 97 кН·мм, армированный арматурой бетон – 144 кН·мм.

Различные значения энергопоглощения не позволяют сделать вывод о допустимой величине показателя, что связано с различными условиями эксперимента и методами получения результата. Однако, приведенные значения позволяют заключить, что энергопоглощение зависит от наличия армирующих элементов (фибры, сетка, арматура) и толщины слоя. Также возможно заключить, что во всех исследованиях энергопоглощение обычного неармированного бетона оказывается в 2-3 раза меньше в сравнении с фибро-торкретбетоном и бетоном, армированным металлической сеткой или арматурой.

Таким образом, для оценки степени воздействия динамических процессов проведен расчет сейсмических колебаний, выраженных в плотности энергии, выделяемой при взрыве.

Параметры сейсмических колебаний (a – ускорение, v – скорость, ε – деформация, E – энергия) являются функцией приведенного расстояния:

$$R_{ПП} = \frac{r}{\sqrt[3]{Q}}, \quad (3.1)$$

где r – расстояние от взрыва до пункта регистрации смещения, м; Q – масса взрываемого заряда ВВ, кг.

Указанные параметры сейсмоколебаний используются в различных исследованиях в качестве критерия сейсмической опасности.

Для оценки использованы расчетные величины скоростей смещений (V , см/с) и плотности потока энергии (E_r , Эрг/см², Дж/см²) в характерных точках участка закрепленной выработки.

В качестве расчетных точек приняты участки в контурах сооружаемой выработки с учетом отставания крепи: т.1 – на расстоянии 0,8 м от забоя, т.2 – 3,2 м, т.3 – 5,6 м. В интервале 0,8-3,2 м участок закреплен армокаркасом и первым слоем торкретбетона. В интервале 3,2-5,6 м нанесен второй слой торкретбетона (рисунок 3.44).

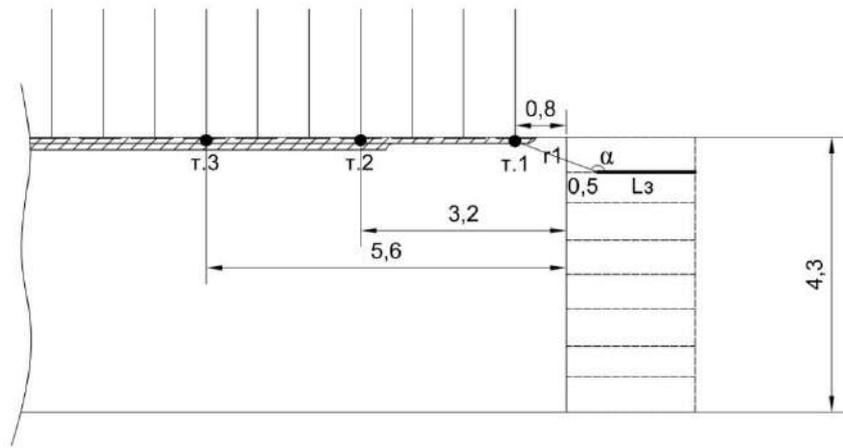


Рисунок 3.44. Расчетная схема оценки сейсмического действия зарядов на элементы поверхностной крепи

Рассчитываемые параметры сейсмoeffекта (V , E_r) определяются двухпараметрическим аргументом энергетического подобия – эквивалентным приведенным расстоянием ($R_э$) для пространственного рассредоточенного мгновенно взорванного заряда:

$$R_э = R_{\text{мгн}} \cdot K_{\text{Лгр}}, \text{ м/кг}^{1/3} \quad (3.2)$$

где $R_{\text{мгн}}$ – приведенное расстояние взрыва мгновенно взрывааемых зарядов; $K_{\text{Лгр}} \geq 1$ – коэффициент относительного увеличения приведенного расстояния эквивалентного мгновенно взорванного заряда за счет рассредоточенности массы заряда группы взрывааемых шпуров по длине или площади взрывааемого участка с учетом ориентации точки наблюдения относительно линейного размера заряда α .

$$R_{\text{мгн}} = r_i / \sqrt[3]{Q_э}, \text{ м/кг}^{1/3} \quad (3.3)$$

где r_i – кратчайшее расстояние до ближайшей точки заряда от рассматриваемой точки (т.1, т.2, т.3), м; $Q_э$ – масса заряда, эквивалентная взрывааемой группе с учетом замедления, кг.

Согласно данным паспорта буровзрывных работ (рисунок 3.45) при проходке выработок используются шпуровые заряды, взрывааемые с различными сериями замедлений.

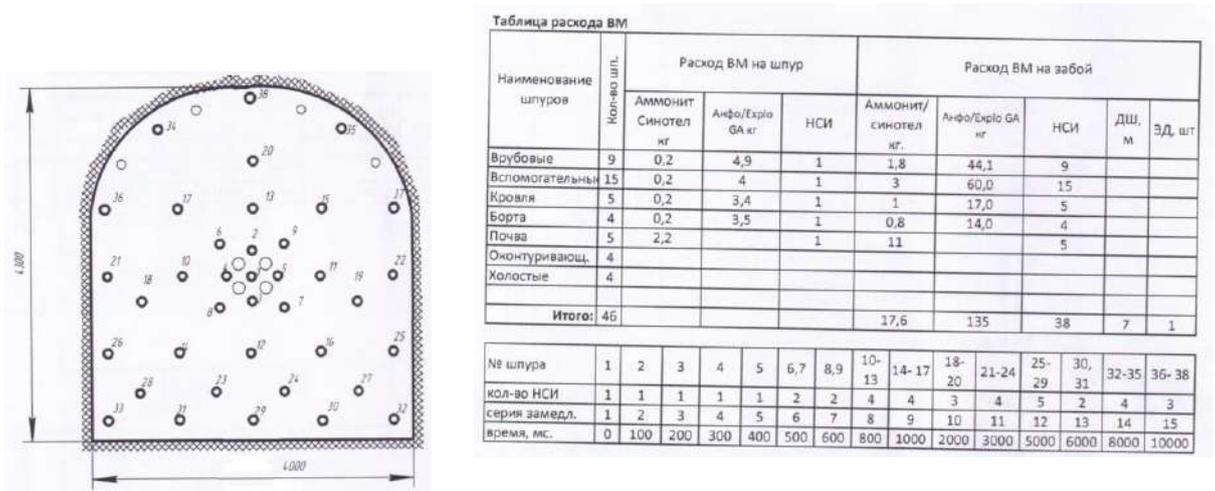


Рисунок 3.45. Схема расположения шпуров в забое и параметры зарядов ВВ

Наибольший сейсмический эффект при взрыве будут оказывать заряды, имеющие максимальную массу при единовременном взрывании. К таким зарядам на основании параметров взрывания будут относиться шпуры 10-13, 14-17, 21-24, 25-29, 32-35, причем масса зарядов в серии 25-29 будет максимальной из перечисленных.

Учитывая, что ближайший заряд расположен на расстоянии 0,25 м от границы предельного контура выработки (заряд контурных комплектов шпуров) и длина незаряжаемой части шпура составляет 0,5 м, кратчайшие расстояния между оцениваемыми точками вдоль стенок выработки и ближайшим зарядом определяются геометрическим суммированием. Таким образом, расстояния от зарядов до оцениваемых точек составляют: $r_1=1,33$ м; $r_2=3,7$ м; $r_3=6,1$ м.

Масса эквивалентного заряда ($Q_{\text{э}}$) при КЗВ с достаточно большими замедлениями равна по массе зарядам замедляемой группы, а если заряды в группе разнесены на большие расстояния от расчетной точки, принимается равной массе одного шпурового заряда.

Коэффициент относительного увеличения приведенного расстояния $K_{L_{\text{Гр}}}$ за счет рассредоточения массы мгновенно взрывающейся группы по длине заряда ($K_{L_{\text{Ш}}}$) и ширине забоя ($K_{L_{\text{В}}}$) определяется относительной удлиненностью заряда L_3/r_i или V/r_i (где V – ширина забоя, м) и углом ориентации (α) относительно взрывающегося линейного размера и лучом, проведенным от точки наблюдения к ближайшему

эквивалентному мгновенно взрываемому заряду. При расположении наблюдаемой точки вдоль линии шпурового заряда угол ориентации $\alpha \approx 180^\circ$, а для направления, перпендикулярного относительно оси заряда, $\alpha \approx 90^\circ$. Угол α определяется геометрическими параметрами расположения. В общем случае K_L рассчитывается по соотношению:

$$1 \geq K_L = 0,115\sqrt{\alpha} \cdot \sqrt[3]{\frac{Ri}{r_i}}, \quad (3.4)$$

где Ri – линейный размер заряда (длина), рассредоточенного по длине или по ширине забоя, м.

Поскольку максимальным зарядом мгновенно взрываемой группы шпуров является серия 25-29, принимается рассредоточенность зарядов по ширине забоя. В этом случае линейный размер относительного эквивалентного заряда по ширине выработки будет составлять 3,5 м ($4-2 \times 0,25$, где 0,25 м – расстояние от крайних шпуров до контура выработки).

Таким образом, при оценке сейсмического воздействия на поверхностную (торкретбетонную) крепь выработки принимаем две расчетные схемы:

1. Расчетные точки подвергаются воздействию сейсмической волны от единичного удлиненного заряда, массой $Q_{\text{э}}=Q_{\text{ш}}=4,2$ кг, при длине заряда в шпуре $L_3=2,6$ м (рисунок 3.46). Расстояния от заряда шпура: $r_1=1,33$ м; $r_2=3,7$ м; $r_3=6,1$ м при $\alpha_1=169^\circ$; $\alpha_2=176^\circ$; $\alpha_3=177,5^\circ$, соответственно. Величины $K_{L_{\text{гр}}}$ для рассматриваемых расчетных точек, соответственно, составят – 1,87, 1,36, 1,03 для т.1, т.2, т.3.

2. Расчетные точки подвергаются воздействию сейсмической волны от группы мгновенно взрываемых зарядов шпуров 25-29. В этом случае расчетные точки т.1, т.2, т.3 располагаются в борту выработки, на расстояниях, аналогичных первой расчетной схеме на уровне горизонтальной плоскости шпуров 25-26 (рисунок 3.46). Общая масса ВВ в группе составляет $Q_{\text{гр}}=21$ кг.

Принимая во внимание схемы действия зарядов, определяются эквивалентные приведенные расстояния, на основе которых производится расчет параметров сейсмических возмущений – скорость смещений и плотность энергии.

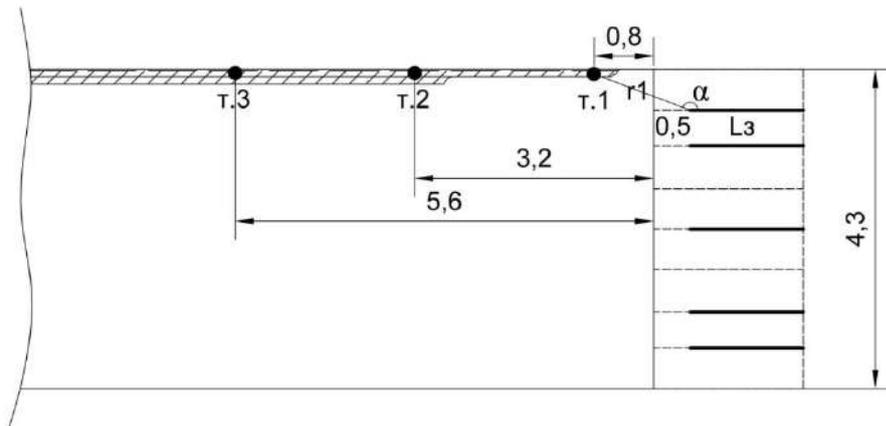


Рисунок 3.46. Расчетная схема оценки сейсмического действия группы из пяти зарядов

Для оценки скорости сейсмических колебаний (V) в диапазоне эквивалентных приведенных расстояний $R_{\text{э}}=1-6,5 \text{ м/кг}^{1/3}$ с достаточной степенью надежности может быть использована обобщенная зависимость [20,45]:

$$V=0,95 \cdot K_v \cdot R_{\text{э}}^{-2}, \text{ м/с}, \quad (3.5)$$

где K_v – сейсмический коэффициент, определяемый по упругим характеристикам массива.

В качестве аналога оцениваемых пород для проводимой выработки выбраны сильнотрещиноватые кварцево-серицитовые породы Учалинского месторождения, характеризующиеся значениями скорости продольных волн $C_p \approx 1000-1300 \text{ м/с}$, плотность $\gamma=2,7 \text{ т/м}^3$, $K_v \approx 3,1 \text{ м/с}$.

Определенные по (3.5) значения скорости колебаний для условий использованных расчетных схем приведены в таблице 3.21.

Для трещиноватых кварц-серицитовых пород известна зависимость плотности энергии от скорости смещения:

$$\frac{E_r}{0,5\gamma C_p} = 5,25 \cdot V^2, \quad (3.6)$$

где E_r – плотность энергии, Эрг/см^2 ; γ – плотность пород, т/м^3 ; C_p – скорость продольных волн в породе, м/с ; V – скорость смещений см/с .

Выражая в данной зависимости величину E_r получим:

$$E_r=2,6 \cdot \gamma \cdot C_p \cdot V^2, \text{ Эрг/см}^2 \quad (3.7)$$

где $[\text{Эрг}]=1 \cdot 10^{-7} [\text{Дж}]$.

Таблица 3.21. Результаты расчета плотности энергии при сейсмическом действии взрывных работ в забое строящейся выработки

Параметры зарядов	№ расчетной точки	Расстояния (r_i) от заряда до расчетной точки, м	Приведенное расстояние $R_{мгн}$, м/кг ^{1/3}	Угол α для линейного заряда и плоского, град	K_L	Эквивалентное приведенное расстояние $R_э$, м/кг ^{1/3}	Скорость колебаний V , м/с	Плотность энергии E_r , кДж/м ²
Q=4,2 кг Lз=2,6 м (1-я расч. схема)	1	1,33	0,945	169	1,87	1,77	0,945	63,3
	2	3,7	2,29	176	1,36	3,12	0,3	6,4
	3	6,1	3,78	177,5	1,03	3,9	0,193	2,6
Q=21 кг (5 шпуров) Вз=3,5 м (2-я расч. схема)	1	1,33	0,48	$\alpha_{ш}=169$ $\alpha_в=105$	2,86	1,37	1,6	181,4
	2	3,7	1,34	$\alpha_{ш}=176$ $\alpha_в=94$	1,5	2	0,73	37,8
	3	6,1	2,42	$\alpha_{ш}=177,5$ $\alpha_в=92,5$	1,03	2,5	0,47	15,7

Для оценки сейсмического воздействия взрыва необходимо сравнить ожидаемые величины скорости смещений и плотности энергии в расчетных точках с допустимыми для рассматриваемой конструкции крепи.

Согласно результатам исследований, для бетона, набравшего 70 % марочной прочности на сжатие, допустимая скорость колебаний определяется соотношением:

$$[V] = 3 \cdot \sigma_{сж}, \text{ см/с}, \quad (3.8)$$

где $[V]$ – допустимая скорость смещения, см/с; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа.

Прочность торкретбетона на 1-е сутки $\sigma_{сж} = 11-15$ МПа, тогда $[V] = 33-45$ см/с или $[V] = 0,33-0,45$ м/с.

Расчетные параметры по (3.2) - (3.6) приведены в таблице 3.22.

Таблица 3.22. Результаты перераспределения сейсмознергии взрыва в забое выработки и показатели допустимого энергопоглощения крепи

	Прогнозируемая плотность энергии от взрывааемых зарядов кДж/м ² (расстояние от забоя в расчетных точках)	Воспринимаемая энергия, кДж/м ²		Конструкция поверхностной крепи и показатель допустимого энергопоглощения
		анкерами	поверхностно й крепью	
кровля	63,3 (т.1 0,8 м)	44,3	19,0	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ²
	6,4 (т.2 3,2 м)	4,5	1,9	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ² не армированный второй слой торкретбетона, толщиной 50-100 мм – 1 кДж/м ²
	2,6 (т.3 5,6 м)	1,8	0,8	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ² не армированный второй слой торкретбетона, толщиной 50-100 мм – 1 кДж/м ²
борта	181,4 (т.1 0,8 м)	127,0	54,4	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ²
	37,8 (т.2 3,2 м)	26,4	11,3	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ² не армированный второй слой торкретбетона, толщиной 50-100 мм – 1 кДж/м ²
	15,7 (т.3 5,6 м)	11,0	4,7	армированный армокаркасом торкретбетон, толщиной 100 мм – 6 кДж/м ² не армированный второй слой торкретбетона, толщиной 50-100 мм – 1 кДж/м ²

Результаты расчета показывают, что в расчетных точках в интервале от 0,8 до 3,2 м от забоя в закрепленной системой «СЗА-Армокрепь» с первым слоем торкретбетона зоне ожидаемая расчетная скорость смещений в кровле выработки составила 0,945-0,3 м/с, а плотность энергии – 63,3-6,4 кДж/м²; в борту выработки – 1,6-0,73 м/с и 181,4-37,8 кДж/м², соответственно. В интервале от 3,2 до 5,6 м от забоя, в закрепленной системой «СЗА-Армокрепь» со вторым покрывающим слоем торкретбетона зоне скорость смещений в кровле составила 0,3-0,193 м/с, а плотность энергии – 6,4-2,6 кДж/м², в бортах выработки – 0,73-0,47 м/с и 37,8-15,7 кДж/м², соответственно.

Таким образом, в соответствии с прогнозом критической скорости смещений по (3.8) $[V]=0,33-0,45$ м/с на расстояниях до 3,2 м от забоя следует ожидать разрушения торкретбетонного слоя крепи в бортах и кровле выработки. На

расстояниях от 3,2 до 5,6 м возможно разрушение крепи в бортах и трещинообразование в кровле.

В связи с отсутствием данных по энергопоглощающей способности используемых типов крепи, оценка степени воздействия взрывных работ на состояние крепи производилась с использованием известных опубликованных результатов для поверхностной фибро-торкретбетонной крепи с армирующими элементами.

По результатам проведенной оценки на расстоянии более 3,2 м от забоя в кровле выработки первый слой набрызгбетонной крепи, армированный армокаркасом, способен выдержать энергию разрушения. В бортах – до 3,2 м – в результате сейсмического воздействия следует ожидать разрушение поверхностной крепи из набрызгбетона, армированного армокаркасом. Второй (последующий) слой неармированного набрызгбетона будет разрушаться в бортах выработки на расстоянии до 5,6 м, а в кровле возможно образование трещин.

Таким образом, проведенные оценки по расчетным характеристикам ожидаемых скорости смещений (V) и плотности энергии (E_f) с допустимыми показывают сопоставимый результат.

Учитывая результаты проведенной оценки по сейсмическому воздействию взрывных работ в забое закрепляемой выработки, для обеспечения необходимой прочности торкретбетонного слоя рекомендуется предусматривать в составе торкрет-смеси фиброволокна, армировать слои толщиной более 60 мм, а также пересмотреть параметры буровзрывных работ, позволяющих уменьшить массу одновременно взрывааемых зарядов.

Выводы по главе 3

На глубоких рудных месторождениях в околорудной зоне породы после обнажения активно вступают в реакцию с шахтной атмосферой, изменяют свои первоначальные физико-механические свойства и переходят в неустойчивое состояние с активным вывалообразованием. На общую устойчивость наблюдаемых выработок также негативно сказываются высокая обводненность, заполненность

трещин серицитом, хлоритом (глинками трения), температура массива и шахтного воздуха.

Проектом предусмотрена металлическая податливая крепь с затяжкой, способная воспринимать нагрузки, созданные не только весом налегающих пород кровли, но и напряжением, образующемся в боках выработки. Вследствие действия такого напряжения наблюдается выдавливание стоек арочной крепи СВП в районе почвы выработок.

Напряжения, возникающие в массиве, значительно ниже прочностных характеристик горных пород в естественном состоянии, поэтому при своевременном креплении горных выработок возможно предотвратить развитие метасоматических процессов.

Содержание сорбционной влаги в образцах за 48 часов в среде со 100% влажностью приближается к величине в 50% от величины водопоглощения за те же 48 часов. Следует отметить, что по истечении 48 часов впитывание влаги из воздуха горными породами прекращается. Основные процессы метаморфизации горных пород проходят в промежутке от 0 до 24 часов. В период с 6 до 18 часов после обнажения горные породы напитываются влагой, увеличивается их вес, снижается сцепление, что приводит к процессам их обрушения. В интервале с 24 до 48 часов процессы в зоне до 0,6 м от контуров выработки прекращаются и, если произошло частичное или полное обрушение этой зоны, переходят в более глубокие участки.

Характеристики НДС массива в окрестности горных выработок получены в ходе моделирования различными методами: упругопластической среде (изотропной и анизотропной) методом конечных и дискретных элементов. Полученные значения напряжений и деформаций по различным моделям находятся в равновеликих интервалах, следовательно, подтверждают друг друга.

Размер зоны неупругих деформаций составляет 1,7-2 м вокруг выработки.

При взаимодействии массива пород с рудничным воздухом с течением времени снижаются его прочностные свойства и величина геологического индекса прочности GSI, при этом увеличивается размер зоны неупругих деформаций.

Для изоляции массива пород от контакта с рудничным воздухом и, следовательно, во избежание снижения величины геологического индекса прочности пород и соответствующего увеличения зоны неупругих деформаций рекомендуется торкретирование выработок толщиной слоя не менее 50 мм.

Отставание крепи ограничено временем потери устойчивости. Период активной потери прочности блочного массива по результатам моделирования наступает после 6 часов с момента обнажения породы.

Окружающая выработку порода находится в условиях длительного нагружения в области, более чем в 2 раза превышающей диаметр выработки. В области непосредственно за забоем также до расстояния примерно 2 диаметра, период увеличения нагрузки в окружающей породе составляет от несколько часов до суток. Таким образом, устойчивость будет обеспечиваться в том числе в зависимости от скорости проходки. Условия нагружения в этой области не относятся ни к кратковременным, ни к долговременным, как в области далеко за забоем. По сути, это среднесрочная нагрузка. Порода в области непосредственно за забоем может подвергнуться разрушению при растяжении и даже разрыву при деформации в случае превышения уровнем нагрузки длительной прочности.

Выбор типа и параметров крепи обосновывается учетом установленных особенностей нагружения и деформирования элементов крепи в сложноструктурных массивах вмещающих пород: в скальных породах, склонных и опасных по горным ударам, система элементов крепи должна обладать максимальными деформационными способностями, реализуемых в системе «СЗА-Армокрепь»; в породах, склонных к потере прочности и возникновению высоких статических напряжений, по всей поверхности обнажения следует в сроки не более 0,5-1 рабочей смены обеспечить сохранение первоначальных свойств пород, что достигается нанесением изолирующего слоя набрызгбетонной крепи. В блочных породах устойчивость обеспечивается созданием распределенного подпора армокаркасом и сохранением положения «замыкающего блока», вывал которого приводит к дальнейшему развитию процесса обрушения.

Учитывая условия работы фрикционной анкерной крепи необходимо предусматривать соответствующую защиту от воздействия коррозионных факторов. Наблюдалось очень сильное вытравливание металла от 0,78 до 2,78 % у непокрытых СЗА. Для обычной водопроводной воды эти показатели составляют 0,78 %, для щелочной модельной воды и щелочной воды Артемьевского рудника потеря металла непокрытых анкеров составила, соответственно, 1,39 % и 1,44 %, что в 15-20 раз больше, чем при использовании защитного антикоррозийного покрытия.

Прочностные свойства материала крепи определяют показатели нагрузочной способности его элементов: стержень анкера, опорный узел, что в итоге обуславливает общие показатели несущей способности.

Условия работы металлической анкерной крепи зависят от внешних факторов, определяющих коррозионное воздействие. Выбор крепи должен учитывать влияние данных факторов в период эксплуатации. Механизм взаимодействия системы «крепь-массив» недостаточно изучен и нуждается в детальной проработке: необходимо учитывать схему нагружения, механизм обеспечения несущей способности, конструкцию анкерной крепи.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНВЕ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ФРИКЦИОННОГО ТИПА

4.1. Оценка влияния элементов конструкции крепи на общую работоспособность

Несущими элементами комбинированной крепи являются анкеры, устанавливаемые в массиве горных пород. Анкеры делятся на три категории в зависимости от механизмов их крепления:

- 1) с замковым точечным креплением;
- 2) закрепляемый по всей длине твердеющими составами;
- 3) фрикционные анкера.

Анкер с замковым типом крепления имеет максимальный потенциал способности поглощать энергию. Энергопоглощающие анкеры, используемые в настоящее время для борьбы с горными ударами, закрепляются либо в двух, либо в нескольких точках шпура. По механизму деформации анкеры замкового типа подразделяются на стержни растяжения и скольжения. Растягивающие компенсируют деформацию породы за счет пластического удлинения стержня. Скользящие – смещаются либо путем вдавливания, либо путем скольжения стержня болта через анкер.

Двухточечный анкер представляет собой стержень, закрепляемый в шпуре либо с помощью распорного устройства, либо с помощью твердеющего раствора на различной длине, как правило, на концах. Распорный механический замок закрепляется в шпуре, и его несущая способность прямо пропорциональна контактному напряжению между замком и породой. Анкер на основе крепления твердеющими растворами действует так же, как распорный анкер, сдерживая деформацию горной породы. Крепление анкера с цементным раствором более надежно, чем механического анкера из-за его прочной адгезионной связи. Анкерные стержни с двухточечным креплением могут компенсировать некоторое смещение горной породы за счет деформации опорной плиты и

растяжения хвостовой части анкера, а также за счет относительного удлинения стержня между точками закрепления.

Распределение осевых и касательных напряжений вдоль замкового анкера показано на рисунке 4.1.

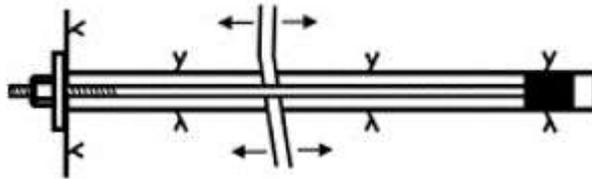


Рисунок 4.1. Модель осевых и касательных напряжений вдоль обычного замкового анкера

Смещение породы одинаково растягивает стержень анкера в каждом поперечном сечении стержня, что приводит к постоянному осевому напряжению по всей длине. Напряжение сдвига на стержне равно нулю. Предельное осевое напряжение в стержне связано либо с прочностью опорной плиты, либо с несущей способностью замка на дальнем конце анкера.

D-болт представляет собой энергопоглощающий анкер с несколькими точками закрепления по длине стержня и гладкими участками стержня между ними, как показано на рисунке 4.2 а. Анкер закрепляется в шпуре цементным раствором или смолой. Гладкие стержни удлиняются при смещении породы. Анкер рассеивает довольно большое количество энергии, полностью используя прочность и деформационную способность стали болта [162].

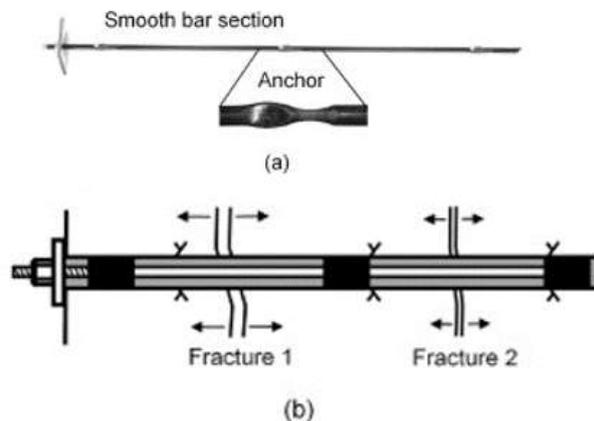


Рисунок 4.2. D-болт (а), и (б) модель распределения осевых и касательных напряжений вдоль D-болта

Тросовые анкеры изготавливаются из одной нити, двух нитей или нескольких нитей. Обычно их заливают цементным раствором в скважинах. Кабельные жилы изготавливаются методом холодной экструзии, и их предельное удлинение невелико, всего 3-5 %. Для повышения деформационной способности тросовых анкеров широко используется метод отделения средней части троса от цементного раствора с помощью пластиковой втулки. Например, предельное перемещение троса длиной 10 м увеличивается на 0,2 м, если на протяжении 5 м посередине трос не закрепляется цементом.

Конусный анкер является типичным анкером с поглощающей энергию скольжением, используемым за рубежом в настоящее время (рисунок 4.3, а). Конусный болт представляет собой гладкий стальной стержень с коническим расширением на конце. Первоначальная версия болта предназначена для цементного раствора, а модифицированная версия – для смоляного раствора. Конусный болт полностью зацементирован в скважине. Смещение породы приводит к нагрузке на опорную плиту, которая передает тянущую нагрузку на конус через стержень болта, который отсоединяется от цементного раствора из-за гладкости цилиндрической поверхности болта. Конус врезается в раствор, когда нагрузка равна прочности раствора на раздавливание. Распределение осевых и касательных напряжений вдоль конусного болта, как показано на рисунке 4.3б, подобно нагрузкам на обычные анкеры с замковым креплением, но предельная нагрузка конусного болта определяется нагрузкой внедрения конуса на конце.

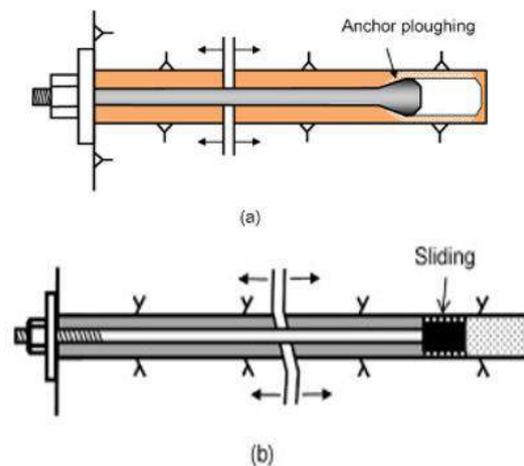


Рисунок 4.3. Конусный болт: а – эскиз, иллюстрирующий принцип работы; б – модель распределения осевых и касательных напряжений

Сетка часто используется для ограждения поверхности в шахтах. Двумя наиболее часто используемыми типами являются сварная сетка и сетка из рабицы (рисунок 4.4). Сварная сетка изготавливается путем сварки в местах пересечения стержней, а рабица – из плетеной проволоки. Сварная сетка более жесткая, чем сетка из рабицы, а прогибающаяся способность сетки из рабицы больше, чем у сварной сетки.

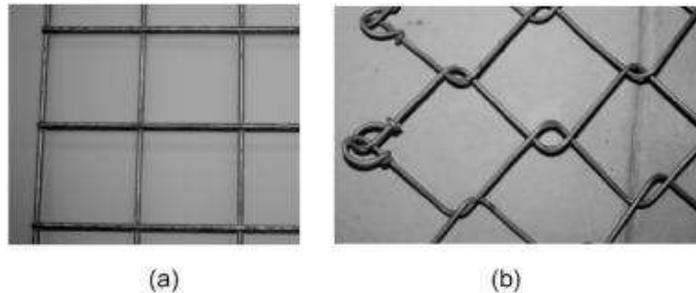


Рисунок 4.4. Типы сеток: а – сварная сетка; б – плетеная сетка

Полосовые решетчатые подхваты укладывают поверх породы для повышения удерживающей способности поверхностно-удерживающей крепи (рисунок 4.5). Полосовые решетчатые подхваты широко используются на рудниках Канады и Австралии.

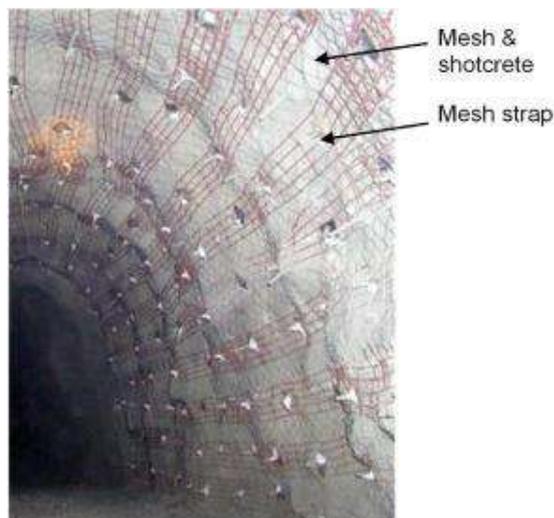


Рисунок 4.5. Пример использования полосовых решетчатых подхватов

Тросовые шнуровки также повышают способность сетки удерживать поверхность породы. Тросы, диаметром 11 мм, прокладывают по сеткам в определенном порядке и крепят к массиву анкерами длиной 0,6 м в местах

пересечения тросов (рисунок 4.6). Система шнуровочных сеток может приспособиться к большому расширению поверхности и обеспечить удовлетворительное сдерживание раздробленной породы.



Рисунок 4.6. Тросовая шнуровка в глубокой выработке в ЮАР

Набрызгбетон (или торкретбетон) уже давно широко используется для укрепления горных пород в гражданском и горном строительстве. Набрызгбетон, армированный фиброй, используется чаще, чем обычный набрызгбетон, потому что первый значительно повышает ударную вязкость бетона. Пунктирная линия на рисунке 4.7. показывает нагрузку на набрызгбетонную панель, армированную стальной фиброй (SFRS), в зависимости от ее прогиба. Плита не потеряла свою несущую способность сразу после пиковой нагрузки, набрызгбетон продолжал нести определенную нагрузку в постпиковой стадии.

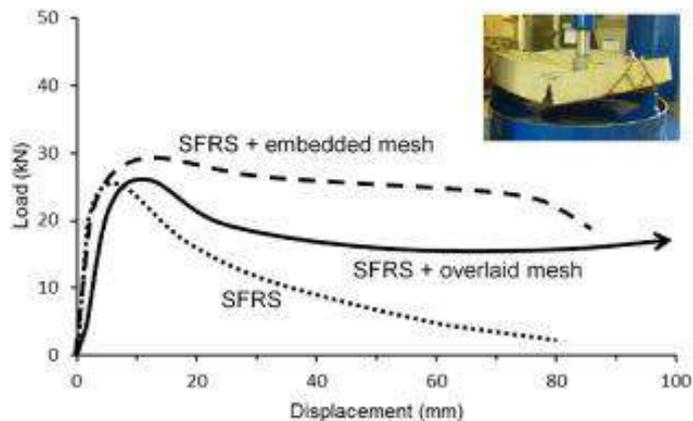


Рисунок 4.7. Результаты испытания на прогиб панелей SFRS толщиной 75 мм без армирования сеткой и с ней

Несущая способность набрызгбетона с уложенной поверх него сеткой немного выше, чем у набрызгбетона с сеткой внутри, но набрызгбетон с сеткой

снаружи может выдерживать большие смещения. Кривые нагрузки-перемещения для двух типов набрызгбетонных панелей, армированных сеткой, представлены на рисунке 4.7. Сетка, заделанная в набрызгбетон, может разрушиться после небольшого раскрытия трещины в набрызгбетоне (рисунок 4.8 а), в то время как сетка, уложенная поверх набрызгбетона, может выдержать разрушенный набрызгбетон при большом смещении, прежде чем его опорная функция будет утрачена (рисунок 4.8 б).

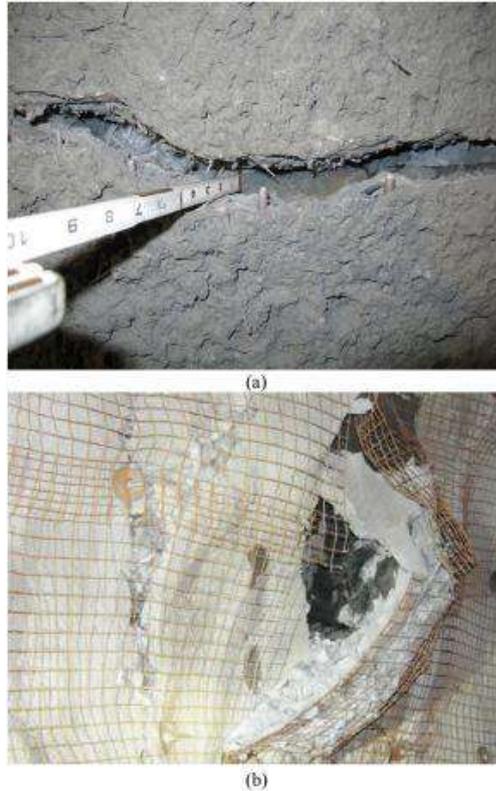


Рисунок 4.8. Состояние набрызгбетонной крепи после ее разрушения: а – с сеткой в набрызгбетоне; б – с сеткой поверх набрызгбетона

Система разработки с самообрушением руд и вмещающих пород создает крайне неблагоприятные условия по регулированию напряжений, создаваемых в результате подработки. НДС массива изменяется по мере развития фронта очистных работ (рисунок 4.9).

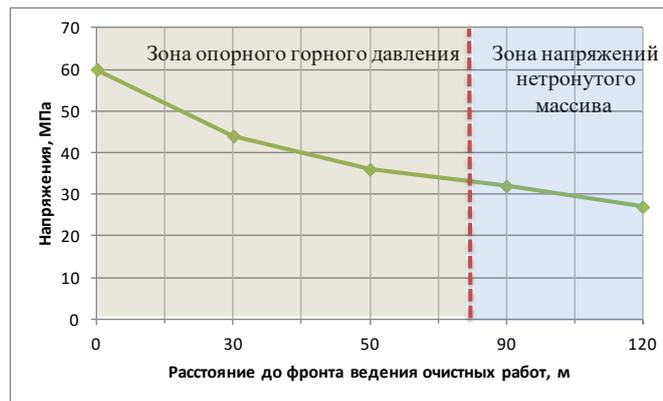


Рисунок 4.9. График зависимости напряжений в массиве от расстояния до фронта ведения очистных работ

Отработка запасов шахты «10-летия независимости Казахстана» характеризуется весьма сложными горно-геологическими, геомеханическими и горнотехническими условиями. Горная крепь в данных условиях испытывает запредельные нагрузки и, как правило, разрушается.

Основными причинами следует считать:

- неоднородность напряженного состояния массива;
- динамические проявления горного давления;
- последовательность отработки, геометрия элементов системы разработки, экономия (недостаток) материальных, временных и трудовых ресурсов;
- несоблюдение режимов проходки выработок и очистных работ;
- недостаточность мер по управлению НДС массива, конструкции крепи и прочее.

Преобладающими категориями горного массива по устойчивости, в которых ведутся горные работы и сооружаются подземные горные выработки рудников «ДНК», являются породы средней, неустойчивой и весьма неустойчивой категории. При используемой системе разработки возникают дополнительные места концентрации напряжений, как правило на участках, находящихся в области воздействия очистных работ.

Прочностные и деформационные свойства пород, теряющих прочность, зависят от длительности их нахождения под нагрузкой (рисунок 4.10).

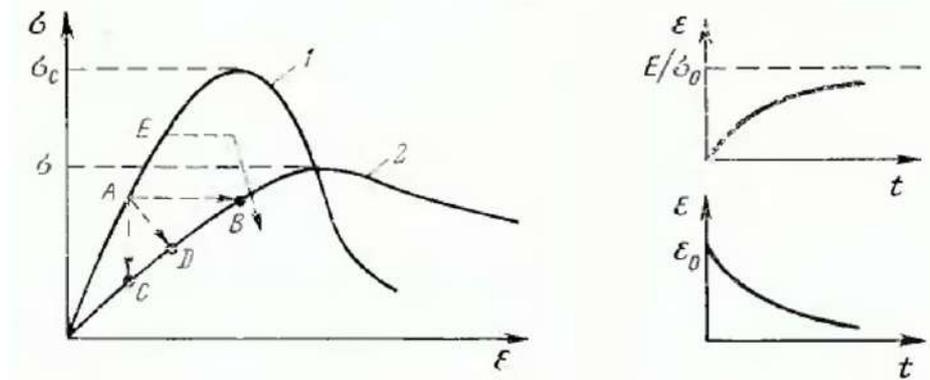


Рисунок 4.10. Графики деформирования пород: 1 – при динамическом нагружении; 2 – при медленном нагружении

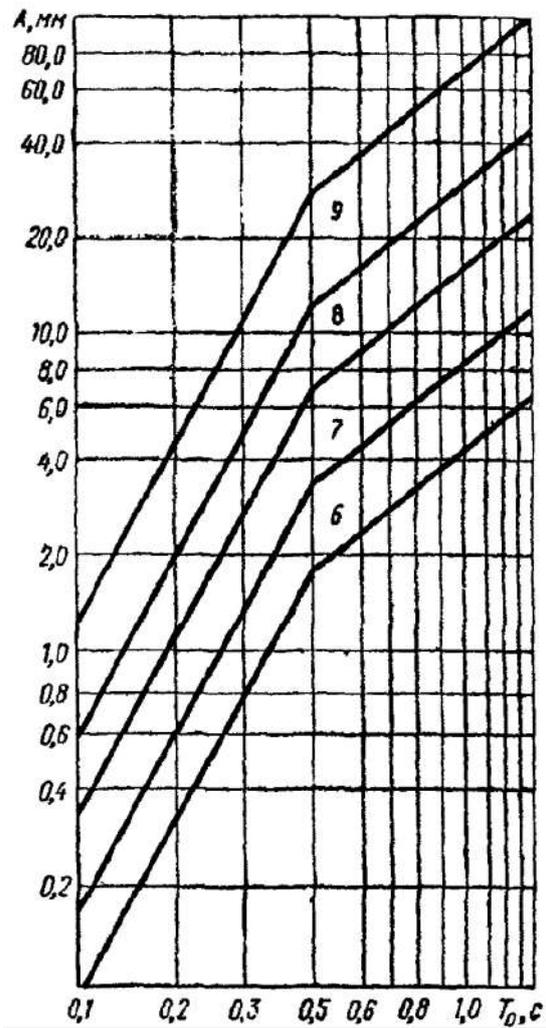


Рисунок 4.11. Соотношение амплитуд смещений A и периодов T_0 при колебаниях грунта, вызванных землетрясениями интенсивностью 6-9 баллов

В соответствии с рекомендациями [24] в сейсмически активных районах при расчетной сейсмичности 7 и более баллов обязательно применение обделки. При расчетной сейсмичности тоннелей 8 и более баллов обязательно применение

замкнутой обделки. При расчетной сейсмичности тоннеля 7 баллов в качестве постоянной обделки в прочных грунтах допускается применение набрызгбетона в сочетании с анкерами. Конструкция анкеров должна обеспечивать их сцепление с грунтом по всей длине и иметь равную долговечность с бетоном обделки.

Таким образом, при увеличенных статических и динамических нагрузках, в том числе горных ударах, могут быть применены конструкции крепи на основе анкеров с фрикционным закреплением, представленные на рисунках 4.12-4.16.

Основные элементы крепи, обеспечивающие устойчивость в сложноструктурных массивах горных пород:

1. Набрызгбетон – первый слой – изолирующий; второй слой – несущий; третий слой (при необходимости) – усиливающий.

2. Анкеры СЗА – крепление приконтактной зоны, элемент крепления металлической сетки или армокаркаса; упрочнение массива методом инъекции (опережающее крепление).

3. Армокаркасы, размером 950х950 мм – 1200х1200 мм – усиливающий элемент комбинированной крепи.

4. Стальная металлическая сетка различных образцов с диаметром стальной проволоки/прута 5 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм.

5. Тросовые анкеры – работают на восприятие статической и динамической/ударной нагрузки, обеспечивают закрепление вне зоны влияния выработки.

6. Напряженная тросовая шнуровка – стягивание в обхват целики между выработками основания блока.

7. Металлическая податливая рамная крепь – восприятие смещений горных пород с течением времени.

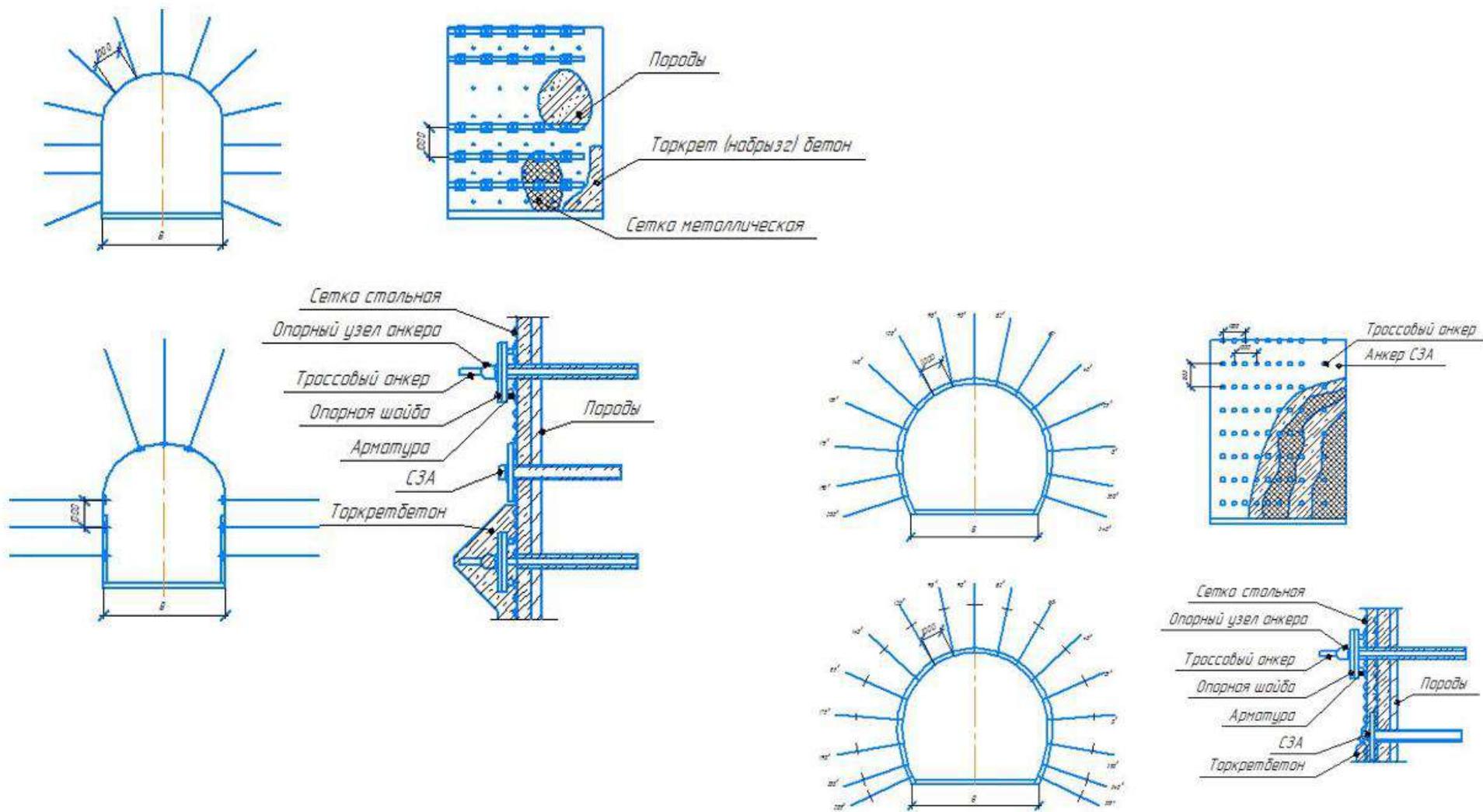


Рисунок 4.12. Варианты крепления горной выработки

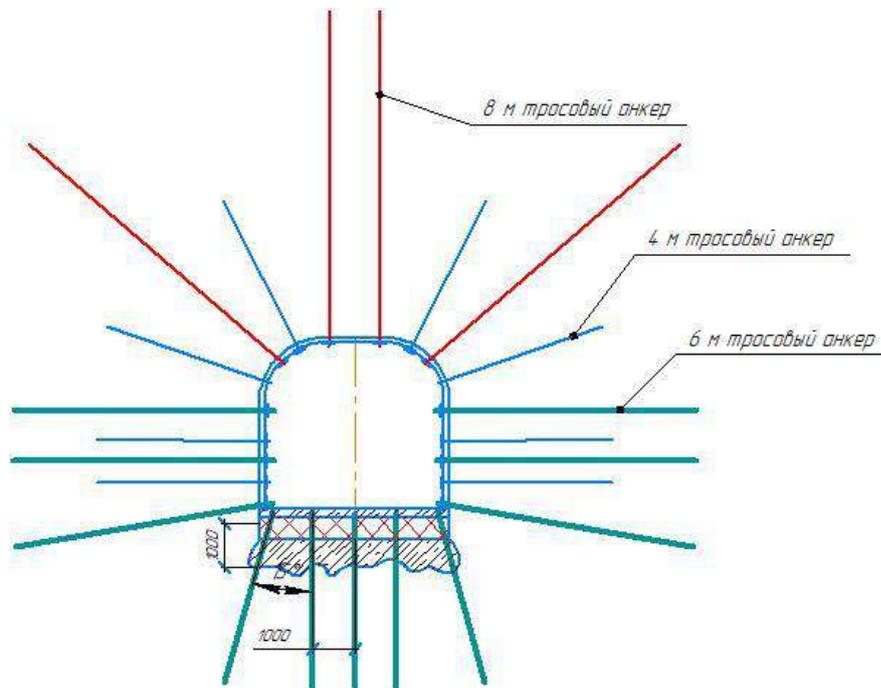


Рисунок 4.13. Вариант усиления крепи посредством анкеров глубоко (2-го порядка) заложения



Рисунок 4.14. Комбинированные крепи с затяжкой периметра выработки сетками и армокаркасами

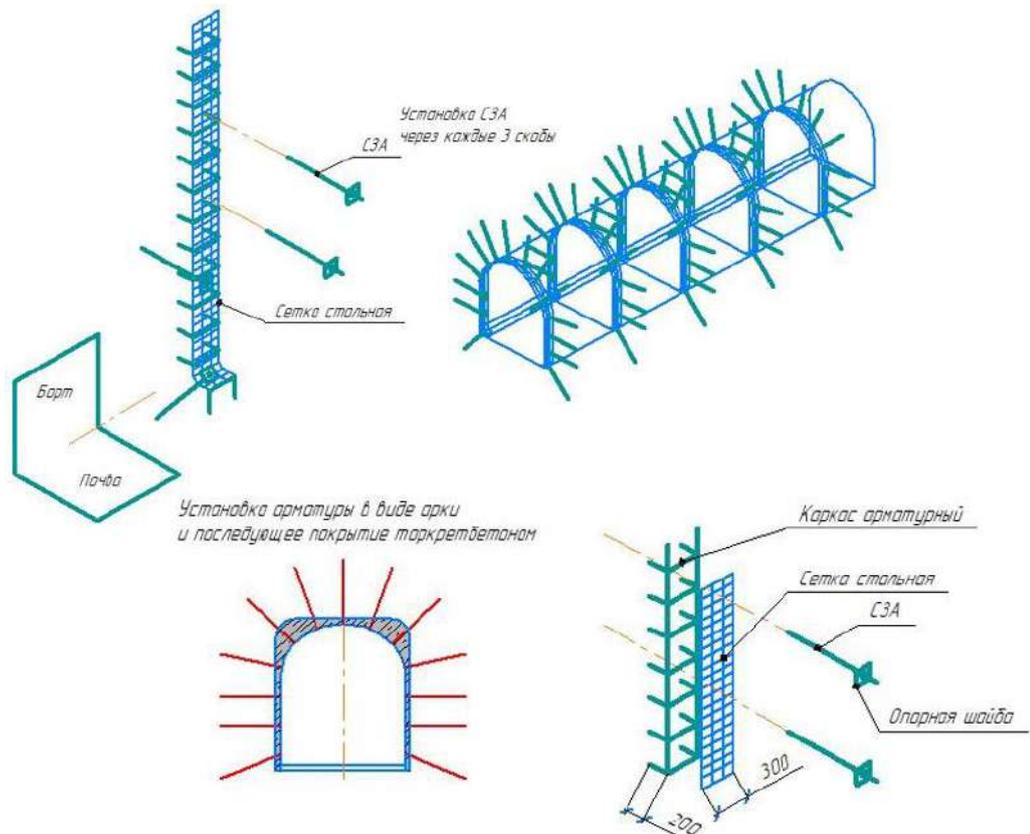


Рисунок 4.15. Создание торкрет-арок с помощью СЗА и армокаркасов

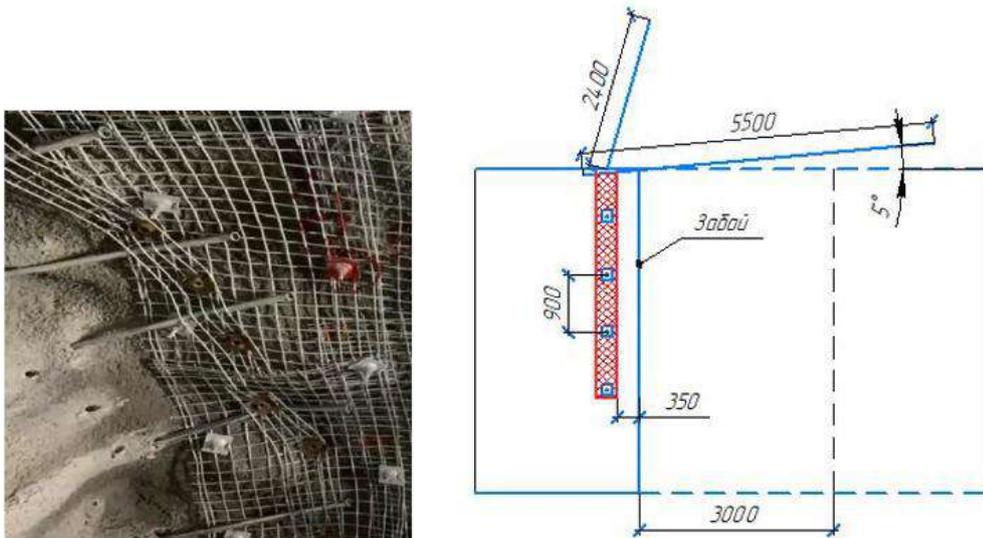
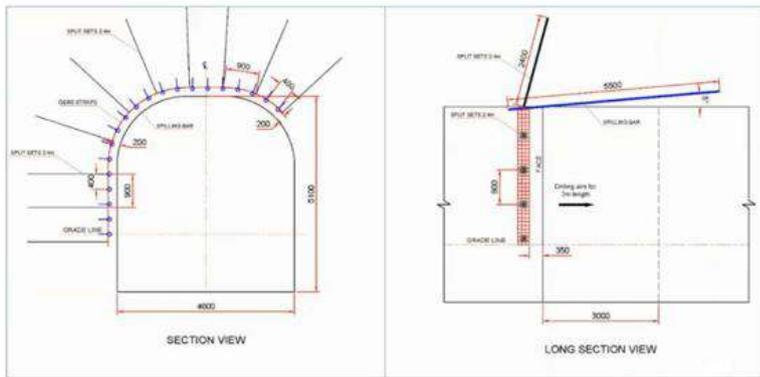


Рисунок 4.16. Опережающее укрепление массива

В ходе исследования выделены факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи:

- горно-геологические условия закрепляемых пород;
- глубина заложения анкера;
- диаметр шпура в соотношении с диаметром стержня и способом установки;
- материал стержня;
- контроль за режимом работы анкерной крепи горных выработок с проведением соответствующих испытаний в реальных условиях их возведения и эксплуатации;
- выбор параметров крепления в зависимости от горно-геологических условий;
- использование принципа необходимости и достаточности несущей способности крепи;
- достижение оптимальных и устойчивых эксплуатационных характеристик выбранного вида крепи и паспорта крепления.

Выбор способов охраны и крепления горных выработок при разработке глубокозалегающего Гремячинского месторождения производился с учетом категорий устойчивости пород и структурного строения пород в кровле, почве и стенках выработок (таблица 4.1).

При обосновании способа охраны и крепления горных выработок в условиях разработки Гремячинского месторождения в зависимости от категории устойчивости пород с учетом вариантов и условий сочетания и залегания сильвинита, галита и ангидрит-доломитовых пород в кровле и стенках выработок доказано, что для обеспечения устойчивости элементов массива горных пород вглубь на прогнозируемую зону развития критических деформаций с учетом расположения анкеров в кровле подготовительных выработок и величин деформаций в кровле и боках выработки при наличии слоистых, сложноструктурных и соляных пород предпочтительно использовать анкер с комбинированным видом закрепления, позволяющим закрепить породы в

устойчивой зоне и при этом обеспечить нормативные смещения пород в приконтурной части выработки без потери несущей способности анкера по всей длине.

Таблица 4.1. Обобщающая характеристика состояний устойчивости пород

Смещение, мм	Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Характеристика состояния пород
До 200	I	Устойчивое	Отсутствуют заметные смещения и разрушения пород или имеются мелкие локальные их разрушения
От 200 до 300	II	Среднеустойчивое	Незначительное распространение нарушений пород вглубь массива, соответствующие начальной стадии общего развития зоны неупругих деформаций в окружающих выработку породах; возможно нарушение целостности пород в структурно ослабленных зонах с образованием небольших сводов обрушения. Деформации пород носят затухающий характер
От 300 до 500	III	Неустойчивое	Дальнейшее развитие зон деформаций и нарушений пород со значительными смещениями свободного контура выработки. Постепенный подход к слабо затухающим во времени деформациям пород
Свыше 500	IV	Очень неустойчивое	Вокруг выработки развиваются большие зоны неупруго деформирующихся пород с их разрушением. Смещения свободного (или при малом отпоре крепи) контура выработки носят слабо затухающий и незатухающий характер

Выбор вида, конструкции и параметров анкерного крепления, обеспечивающих устойчивость глубокозалегающих подземных горных выработок в сложноструктурном, разнопрочном, разномодульном массиве слоистых вмещающих горных пород при сложной морфологии и флексурных нарушениях пласта сильвинита калийного месторождения должен производиться дифференцированно в зависимости от геологического строения массива за контуром выработки, определяющего специфику нагружения элементов комплектующих по длине анкера.

При присутствии в кровле выработки слоя сильвинита или прослоек галита, имеющих меньшую прочность и упругость по сравнению с ангидритовыми и доломитовыми породами, в анкерную крепь необходимо включать демпфирующие вставки, перераспределяющие нагрузки по длине анкера и увеличивающие усилия закрепления анкера в замке, следует более жестко контролировать длину шпура под анкер и исключать перебур и расширение шпура в замковой части анкера.

Параметры паспорта крепления при возведении комбинированной анкерной крепи в сложноструктурном, разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих пород рассчитываются с учетом установленных закономерностей нагружения элементов анкера по его длине в системе «анкер с демпфирующими вставками—сложноструктурный вмещающий массив».

Сравнительная оценка условий закрепления самозакрепляющихся (СЗА, рисунок 4.20) и клинораспорных (КРА, рисунок 4.21) анкеров в прочных и жестких ангидритах и доломитовых породах калийных месторождений выявила большую несущую способность анкеров за счет дополнительного расклинивающего эффекта самозакрепляющегося анкера при упругом восстановлении анкера до принятия своего первоначальной формы.

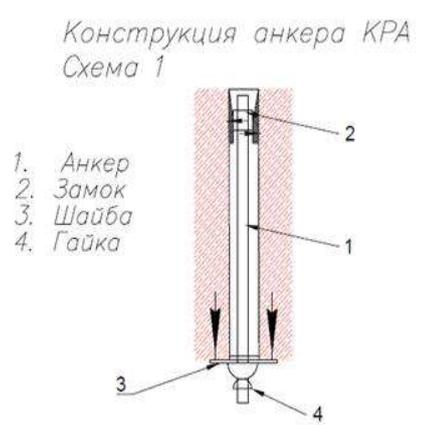


Рисунок 4.20. Схема нагружения анкера КРА с формированием закрепления в замковой части



Рисунок 4.21. Схема нагружения анкера СЗА с закреплением по всей длине стержня

Закономерности деформирования системы «анкер–массив» вмещающих пород за контуром горной выработки отличаются учетом особенностей

геологического строения пород в кровле выработок глубоко залегающих месторождений калийных солей и различия в прочностных и деформационных характеристиках ангидрит-доломитовых и соляных пород, определяющих механизм нагружения элементов комбинированной анкерной крепи.

4.2. Совершенствование конструкции фрикционной анкерной крепи. Аналитический метод определения несущей способности

За последние годы на многих рудниках Российской Федерации получил распространение способ анкерного крепления, основанный на способности конструкции анкера обеспечивать устойчивость пород за счет фрикционного взаимодействия стержня с породами по контакту стенок шпура. В зарубежной практике данные анкера получили название «Split Set».

Разработан и запатентован усовершенствованный аналог фрикционной крепи типа «Split Set», получивший название «Самозакрепляющаяся анкерная крепь (СЗА)», и отличающийся увеличенными прочностными характеристиками опорного узла анкера [50] (рисунок 4.22).

Все элементы анкерной крепи предусматривают антикоррозийное покрытие, что позволяет применять СЗА в условиях высоко агрессивной шахтной среды. Конструкция анкерной крепи СЗА имеет авторский патент на полезную модель.

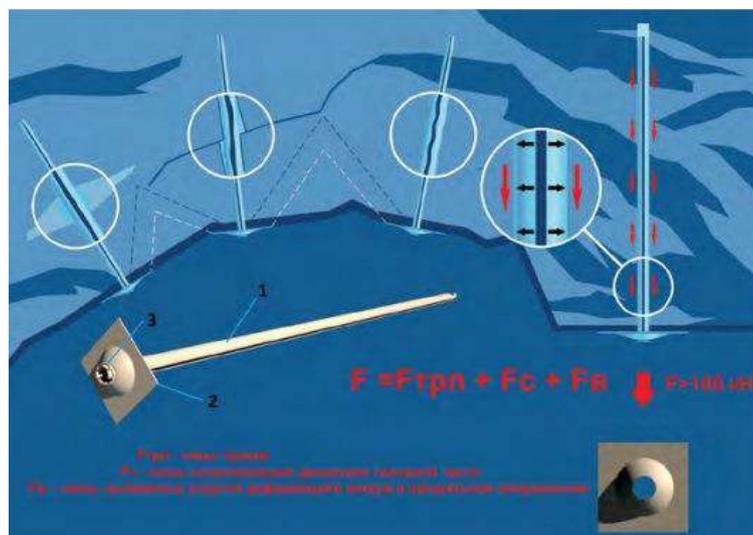


Рисунок 4.22. Общий вид анкера СЗА и принцип его работы

Технологичность и эффективность применения анкерной крепи существенно увеличилась с переходом на использование анкера в сочетании с армокаркасом – комбинированную анкерную крепь. Это позволяет исключить в ряде случаев из технологии установку сетки и полосовых подхватов. При этом применительно к анкерам с фрикционным закреплением обеспечивается совмещение установки анкера и армокаркаса.

Функциональность комбинированной анкерной крепи определяется совокупной работоспособностью ее составляющих: армокаркас, анкерный стержень.

Выбор размеров армокаркасов обусловлен наиболее предпочтительным шагом анкеровки. Многолетний опыт применения показал, что наиболее прочной является конструкция с непрерывным чередованием положения смежных стержней. Иные варианты, например, с односторонним расположением стержней в центральной зоне обладают меньшей нагрузочной способностью. Это обусловлено тем, что размеры опорной плиты не обеспечивают перекрытие всех точек пересечения стержней в центральной зоне, что ведет к двукратному увеличению расстояния между опорными точками.

Снижение нагрузочной способности и полная потеря функциональности армокаркаса имеют место при отсутствии сварки во всех точках контакта продольных и поперечных стержней. Результаты испытаний, проведенных для двух вариантов армокаркасов с совпадающими параметрами, представлены на рисунках 4.23 и 4.24. Исследовались по три образца: без сварки в точках пересечения стержней в центральной зоне, со сваркой во всех точках пересечения. Регистрировался ход поршня (до 200 мм) и создаваемая при этом нагрузка. Минимальная деформация, обеспечивающая вывод всего армокаркаса в одну плоскость, составляет 125 мм. Для адаптации к профилю вогнутой поверхности необходима деформация до 200 мм

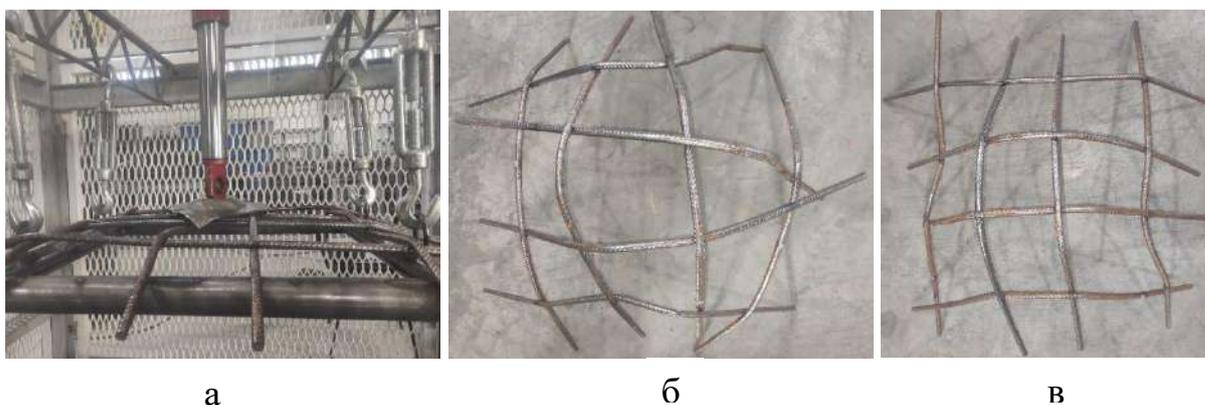


Рисунок 4.23. Испытание армокаркасов: а – общий вид стенда; б – вид армокаркаса без сварки в точках пересечения в центральной зоне; в – вид армокаркас со сваркой во всех точках пересечения

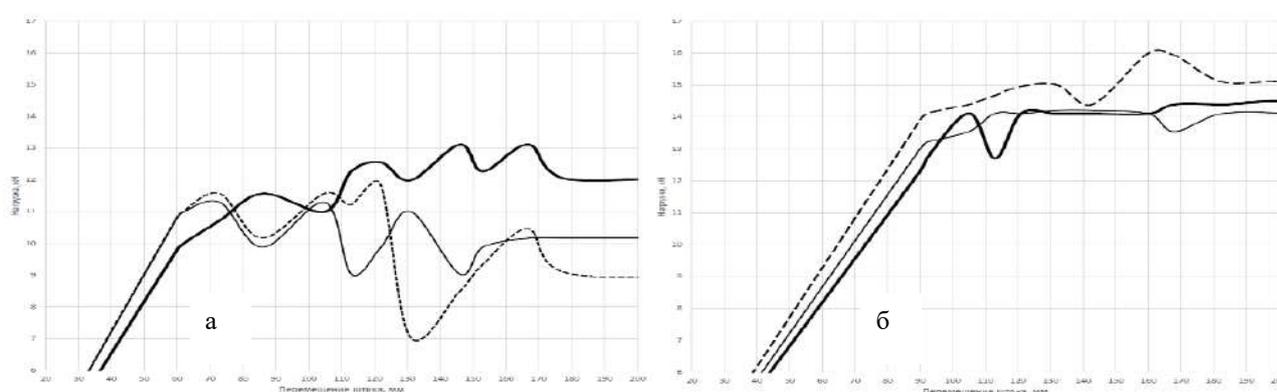


Рисунок 4.24. Результаты испытаний армокаркасов при деформации до 200 мм: а – без сварки в центральных точках пересечения; б – со сваркой во всех точках пересечения

Во всех испытанных образцах с неполной сваркой разрушение произошло в четырех сваренных соединениях.

В образцах со сваркой во всех точках разрушение происходило в одном соединении при деформации в 110-120 мм – первый образец, 130-150 мм – второй образец, 160-170 мм – третий образец (рисунок 4.24, б). Исходные размеры центрального квадрата при этом не изменялись.

Результаты эксперимента показали недопустимость при изготовлении армокаркасов «экономии на сварке соединении стержней», предлагаемой некоторыми производителями.

Основной характеристикой анкерной крепи, определенной ГОСТ 31559-2012 (Изменения №1, 2), является несущая способность $F_{ш}$. Для анкера с фрикционным

закреплением значение $F_{ш}$ установлено не менее 50 кН в скальных породах с пределом прочности на одноосное сжатие 40 МПа. На практике повышение $F_{ш}$ более значения, определенного ГОСТ, позволяет увеличить сетку штангования.

Значение несущей способности $F_{ш}$ определяется по минимальной величине трех составляющих: упора на стержне анкера, опорной плиты, стержня анкера. Возможности повышения первых двух составляющих определены на сегодня в достаточной степени. Дополнительная опора, формируемая при установке анкера в шпур из концевой части, обеспечивает повышение нагрузочной способности упора, выполненного в виде приварного кольца, на 20-25 %. Переход на конструкцию, в которой упор формируется из материала анкера обеспечивает значения, близкие к допустимым нагрузкам стержня анкера на растяжение. По результатам испытаний установлено, что упор имеет нагрузочную способность 109 кН. При этом допустимая растягивающая нагрузка на стержень не превышает 125 кН. Дополнительное увеличение нагрузочной способности упора может быть получено за счет введения в полость стержня, в зоне сформированного упора, усиливающих элементов. Однако в этом случае повышаются затраты на изготовление и усложняется процесс установки анкера в шпур.

Нагрузочная способность опорной плиты, с полусферическим куполом и минимальной регламентированной ГОСТ толщиной в 4 мм, близка к нагрузочной способности упора и составляет 108 кН.

Особенности силового взаимодействия усиленного фрикционного анкера и шпура

Наиболее сложным является повышение несущей способности стержня анкера, установленного в шпур - $F_{ш}$. Ее величина определяется силой трения на поверхности сопряжения «стержень–шпур». Установлено, в частности, что определяющим фактором является предел текучести материала стержня σ_T , линейно влияющий на величину $F_{ш}$. Австралийскими специалистами данная зависимость была определена экспериментально. По результатам исследований ими рекомендуется применять стали с пределом текучести 350-400 МПа. Данный

подход сопряжен с переходом на легированные марки стали и ведет к увеличению стоимости анкера.

Анализ деформированного состояния стержня анкера, выполненный на макете шпура, выявил особенности взаимодействия стенок анкера и шпура (рисунок 4.25). Сопряжение поверхностей происходит на части профиля меньше 50 %. Зона без контакта определяется углом β и составляет $110^\circ - 120^\circ$. При этом в точках C , C_1 , B , B_1 , имеет место сосредоточенное действие нагрузок, соответственно: R_C , R_{C_1} , R_B , R_{B_1} , а распределенная нагрузка q^* действует только на участке BB_1 .

Увеличение силы трения возможно за счет увеличения зоны сопряжения стенок анкера и шпура. Принципиальное изменение схемы нагружения стержня анкера обеспечивается в новом техническом решении. В переднюю часть стержня анкера, с цилиндрическим поперечным сечением, устанавливается вставка из материала, имеющего модуль упругости E_B меньше модуля упругости стали (рисунок 4.26 а). При установке в шпур вставка деформируется в радиальном направлении (рисунок 4.26 б), и на всей внутренней поверхности стержня создается распределенное давление q (рисунок 4.26 в).

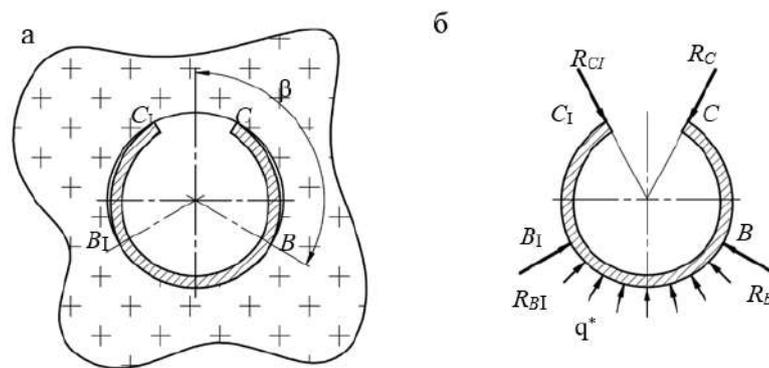


Рисунок 4.25. Поперечное сечение стержня: а – установленного в шпур; б – схема нагружения

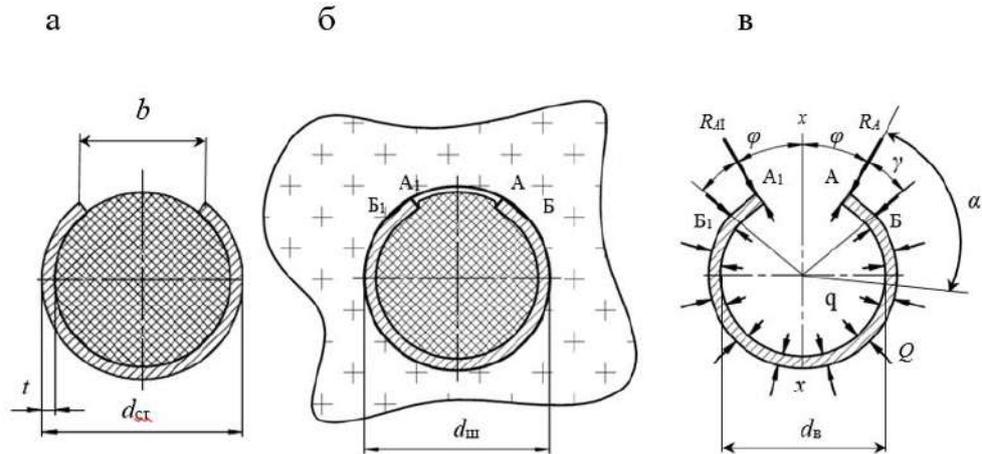


Рисунок 4.26. Поперечное сечение, выполненное в передней части стержня: а – сечение стержня анкера до установки в шпур; б – после установки в шпур; в – схема нагружения стержня анкера

Аналитическая модель силового взаимодействия усиленного анкера

Для анализа влияния каждого из параметров стержня анкера и вставки следует иметь аналитическую модель, связывающую их с несущей способностью $F_{ш}$. При ее формировании приняты следующие допущения:

- материал вставки обладает свойством изотропии в радиальном направлении;
- шпур не деформируется и не разрушается;
- стенки стержня деформируются упруго;
- на участке сопряжения, от Б до B_1 , внешний диаметр стержня равен диаметру шпура;
- нагружение относительно оси $x - x$ симметрично.

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

Принятая схема нагружения представлена на рисунке 4.26 в. В точках А и A_1 , действуют сосредоточенные силы соответственно R_A и R_{A1} . На поверхности стержня распределенные нагрузки: на внешней поверхности от т. Б до B_1 – Q (Н/мм²), на внутренней по всему периметру – q (Н/мм²).

Исходными параметрами для расчета принимаются:

$d_{\text{ш}}$ – диаметр шпура мм;

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

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

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

t – толщина стенки стержня, мм;

$d_{\text{вс}}$ – диаметр вставки, мм.

Нагрузочная способность стержня анкера определяется выражением:

$$F_{\text{ш}} = (Q * l_{\text{п}} + 2 R_{\text{А}}) * H_{\text{вс}} * f_{\text{тр}}, \quad (4.1)$$

где $l_{\text{п}}$ – длина линии сопряжения стержня и шпура, от Б до Б₁, мм; $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения покоя анкер – шпур.

Схема нагружения характеризуется неизвестными: $q, Q, R_{\text{А}}$.

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

$$q = E_{\text{вс}} [d_{\text{вс}} - (d_{\text{ш}} - 2 t)] / d_{\text{вс}}. \quad (4.2)$$

На участке ББ₁ имеет место постоянная кривизна, что возможно только при постоянной величины изгибающего момента:

$$M_{\text{ББ}_1} = E * J_{xx} * \rho^I, \quad (4.3)$$

где E – модуль упругости стержня анкера, $H/\text{мм}^2$, J_{xx} – момент инерции поперечного сечения части стержня, мм^2 ,

$$J_{xx} = l * t^3 / 12, \quad (4.4)$$

ρ^I – изменение кривизны на участке ББ₁

$$\rho^I = 2 (d_{\text{ст}} - d_{\text{ш}}) / (d_{\text{ст}} * d_{\text{ш}}). \quad (4.5)$$

Зависимость (4.3) применима, если напряжения, возникающие в стенке стержня, не превышают предела текучести $\sigma_{\text{т}}$ ($H/\text{мм}^2$). В противном случае, момент следует рассчитывать по формуле:

$$M_{\text{ББ}_1}^I = \sigma_{\text{т}} * W_{xx}, \quad (4.6)$$

где W_{xx} момент сопротивления сечения изгибу, мм^3 :

$$W_{xx} = l * t^2 / 6. \quad (4.7)$$

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

$$M_{\text{ББ1}} = 0,5R_A * d_{\text{ш}} * \sin\alpha + 0,125Q * d_{\text{ш}}^2 * \sin^2(\alpha - \gamma) + \\ + 0,125Q * d_{\text{ш}}^2 [1 - \cos(\alpha - \gamma)]^2 - 0,125q * d_{\text{вс}}^2 * \sin^2\alpha - 0,125q * \\ d_{\text{вс}}^2 * (1 - \cos\alpha)^2. \quad (4.8)$$

Преобразовав выражения (4.8) и выделив из него сомножители, содержащие угол α , имеем:

$$M_{\text{ББ1}} = \sin\alpha (0,5R_A * d_{\text{ш}} - 0,25Q * d_{\text{ш}}^2 * \sin\gamma + 0,25q * d_{\text{вс}}^2 * \sin\gamma) - \\ - \cos\alpha (0,25Q * d_{\text{ш}}^2 * \cos\gamma - 0,5q * d_{\text{вс}}^2 * \cos\gamma) + (0,25Q * d_{\text{ш}}^2 - 0,25q * d_{\text{вс}}^2). \quad (4.9)$$

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

$$R_A * d_{\text{ш}} - 0,5Q * d_{\text{ш}}^2 * \sin\gamma + 0,5q * d_{\text{вс}}^2 * \sin\gamma = 0; \quad (4.10)$$

$$0,5Q * d_{\text{ш}}^2 * \cos\gamma - q * d_{\text{вс}}^2 * \cos\gamma = 0. \quad (4.11)$$

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

$$Q = (4 M_{\text{ББ1}} + q * d_{\text{вс}}^2) / d_{\text{ш}}^2 \quad (4.12)$$

Уравнение (4.10) содержит две неизвестные величины: γ , R_A . Силы R_A и R_{A1} могут действовать как сосредоточенные только в очень 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 4.27 а), будет определяться прочностью породы на одноосное сжатие $\sigma_{\text{сж}}$ ($H/\text{мм}^2$):

$$R_A / [l * (\tau * 0,5d_{\text{ш}})] \leq \sigma_{\text{сж}}. \quad (4.13)$$

Исходя из этого положения можно записать:

$$R_A = \sigma_{\text{сж}} * l * (\tau * 0,5d_{\text{ш}}). \quad (4.14)$$

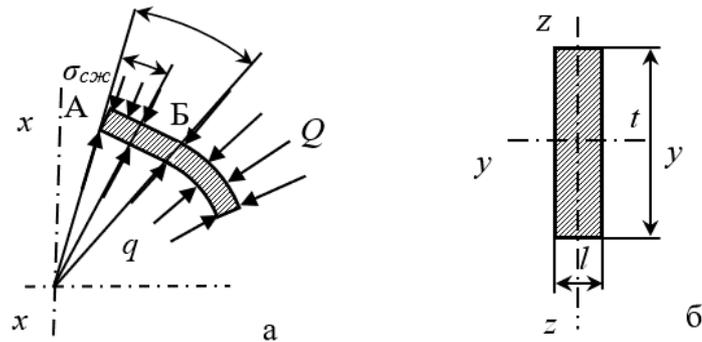


Рисунок 4.27. К анализу нагружения участка АБ: а – схема нагружения; б – параметры поперечного сечения участка единичной длины $l = 1$ мм

При этом угол сопряжения τ не может превышать угол γ (рисунок 4.27, а).

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

$$M_{ББ1} = \sigma_{сж} * 1 * (\tau * 0,5d_{ш}) * [0,5 d_{ш} * \sin(\gamma - 0,5\tau)] - (0,5 d_{вс} * \gamma * q) * (0,5 d_{вс} \sin\gamma/2). \quad (4.15)$$

Неизвестные углы τ и γ определяются из совместного решения уравнений (4.10) и (4.15) после соответствующих подстановок.

Угол φ определяется в последнюю очередь путем несложных вычислений по исходным данным и найденным значениям углов.

Экспериментальные исследования

Для подтверждения выдвинутой теории проведен комплекс исследований на анкерах, установленных в шпур, диаметром 43 мм, в мраморном блоке (рисунок 4.28 а).

Использовались укороченные анкера с общей длиной 500 мм (рисунок 4.28 б). Выбор длины обусловлен тем, что при установке длинных анкеров ручным инструментом имеет место частичное разрушение шпура. В шпур, расположенные в непосредственной близости, устанавливались анкера без вставок и с деревянной вставкой, выполненной из сосны длиной 200 мм и диаметром 38 мм. Использовались анкера из Ст 20, внешним диаметром 48 мм, толщиной стенки 3 мм. Нагружение анкеров производилось через специальное переходное устройство штанговывергивателем ПКА-3.



Рисунок 4.28. Фото экспериментального мраморного блока: а – общий вид блока; б – анкера до установки в шпур; в – анкера после изъятия из шпура

Результаты исследования представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Результаты экспериментальных исследований

№	Анкер	Диаметр стержня, мм		Несущая способность, Н
		перед установкой	после извлечения из шпура	
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

Замеры диаметров стержней анкера со вставкой, извлеченных из шпура, показали, что максимальная разница диаметров в перпендикулярных направлениях составляет не более 0,4 мм.

Зазоров между вставкой и внутренней поверхностью стержня в зоне паза не зафиксировано.

Изменение несущей способности (таблица 4.3) свидетельствует о том, что установка вставки, длиной 200 мм, обеспечивает приращение в среднем 26700 Н.

Проверочный расчет выполнялся по параметрам стержня, соответствующим проведенному физическому эксперименту. При определении углов использовалось значение $\sigma_{сж}$ равное 75 МПа. При совместном решении уравнений (4.10) и (4.15) получены значение углов: $\tau = 5,3^{\circ}$, $\gamma = 7,2^{\circ}$. Модуль упругости дерева зависит от

совокупности факторов. Для расчетов принято значение 350 МПа. Коэффициент трения сталь–мрамор принят равным 0,25.

При расчете при принятых параметрах получено: $Q=7,73 \text{ Н/мм}^2$, $F_{\text{ш}}=45932 \text{ Н}$.

Расхождение расчетной величины $F_{\text{ш}}$ с экспериментальными значениями составляет 38 %. Это обусловлено тем, что в расчетах использовались справочные значение $f_{\text{тр}}$, $\sigma_{\text{сж}}$, $E_{\text{вс}}$. Для более точного определения значение $F_{\text{ш}}$ следует использовать параметры, полученные экспериментально, что на данном этапе достаточно затратно. Получение такой информации следует предусматривать на этапах опытно-промышленных испытаний при обосновании технологии крепления конкретных выработок. Следует отметить, что перечисленные параметры влияют на величину $F_{\text{ш}}$ линейно, а, следовательно, предложенная аналитическая модель позволяет качественно оценивать степень влияния параметров собственно усиленного фрикционного анкера на несущую способность.

Разработке конструкции анкера предшествовало множество испытаний в лабораторных и промышленных условиях, также проводилось моделирование воздействия различных нагрузок, целью которых являлся выбор оптимальных конструкций и материалов анкера с учетом будущих условий эксплуатации на горных предприятиях.

Для обеспечения необходимой несущей способности в результате проведенных исследований для каждого конкретного диаметра буровой коронки определен соответствующий размер профиля анкера. При соблюдении соотношения диаметров шпура и анкера обеспечивается максимальная несущая способность, до 100 кН (10 т). Требования ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия» регламентируют несущую способность – не менее 50 кН (5 т).

Промышленные испытания разработанной конструкции и технологии крепления СЗА начались в 2009-2012 гг. В настоящее время, после проведения крупномасштабных испытаний на рудниках Южного и Северного Урала, Якутии,

Чукотки, Казахстана и в других регионах получены положительные технико-экономические показатели.

В результате эксплуатации на ряде рудников Южного Урала, а также в условиях вечной мерзлоты для крепления неустойчивых пород разработаны конструкции усиленной комбинированной крепи в сочетании с сеткой и армокаркасом СЗА-УКК (рисунок 4.29) и СЗА-Армокрепь (рисунок 4.30), соответственно.

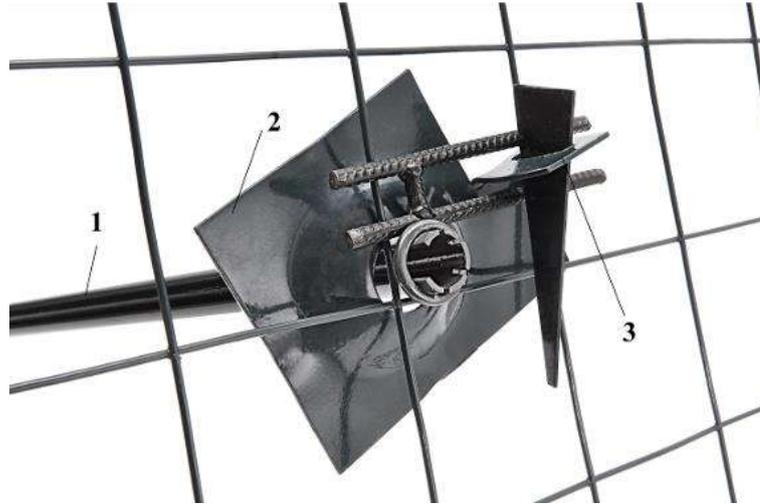


Рисунок 4.29. Конструкция усиленной комбинированной крепи СЗА-УКК: 1 – стержень анкера СЗА; 2 – опорная плита УКК размером 200×250 мм; 3 – замок (металлический клин и арматурный фиксатор)

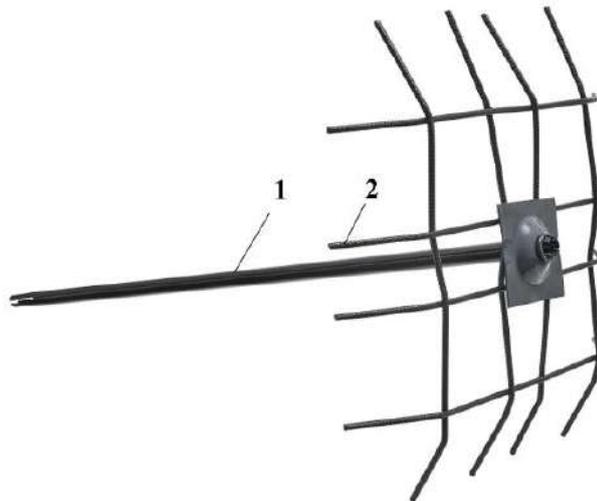


Рисунок 4.30. Общий вид СЗА-армокрепь: 1 – стержень анкера СЗА; 2 – армокаркас

Прижимаясь к контуру выработки (рисунки 4.31-4.32), армокаркас создает распределенную поддерживающую нагрузку. В процессе полного крепления

периметра выработки после нанесения торкретбетонного слоя необходимой толщины конструкция работает как монолитный бетон.



Рисунок 4.31. Пример установки СЗА-Армокреп с помощью самоходной буровой установки

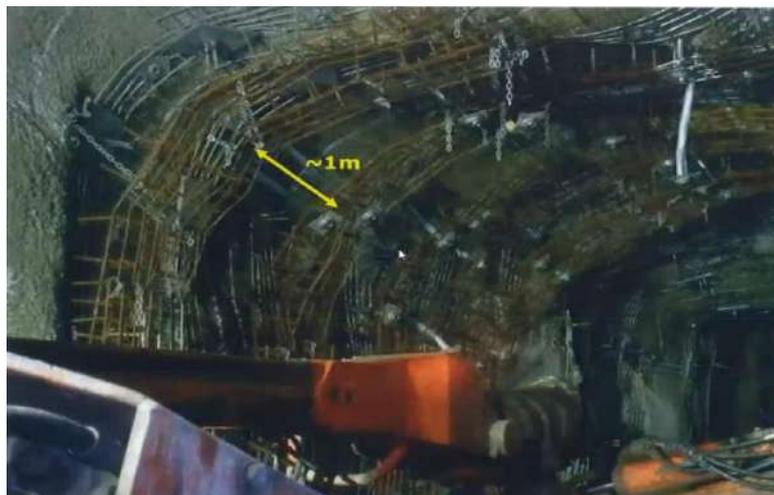


Рисунок 4.32. Пример создания усиливающих торкрет-арок на основе СЗА-Армокреп

К преимуществам СЗА-Армокреп следует отнести:

- простоту и надежность конструкции;
- возможность обеспечения устойчивости контуров выработки в категориях слабоустойчивых и неустойчивых пород;
- механизацию процесса возведения крепи;
- крепление выработки без отставания;

- возможность применения в качестве временной крепи до нанесения слоя торкретбетона и в качестве постоянной после его нанесения;
- полное исключение влияния человеческого фактора на качество возведения крепи;
- обеспечение безопасности рабочего персонала, отсутствие рабочих во время установки крепи под незакрепленным пространством.

Также разработаны принципиально новые усиленные конструкции крепи на основе СЗА, представленные на рисунках 4.33 и 4.34, а также приложения В и Г.

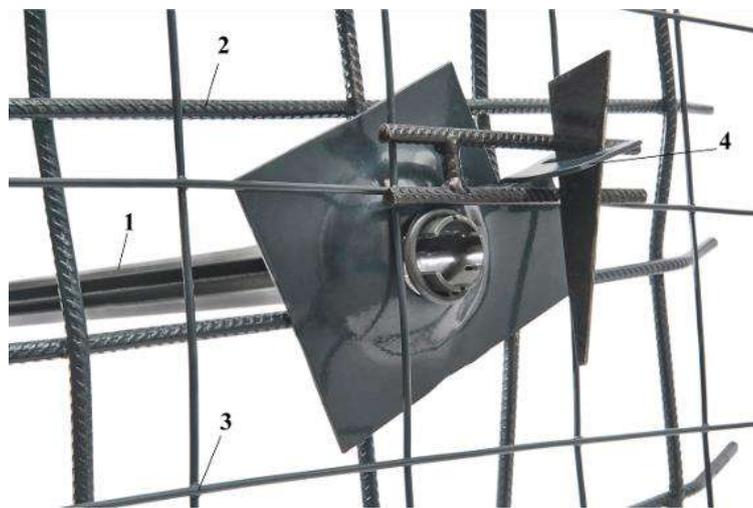


Рисунок 4.33. Конструкция усиленной крепи СЗА-Армокрепь-УКК: 1 – стержень анкера СЗА; 2 – армокаркас; 3 – сетка УКК; 4 - опорная плита УКК размером 200×250 мм, с замком - металлический клин и арматурный фиксатор



Рисунок 4.34. Конструкция крепи СЗА-УФК: 1 – специальный вкладыш; 2 – стержень анкера СЗА

Далее (глава 5 настоящей диссертации) для крепления пород средней и неустойчивых категорий в различных условиях разработки месторождений испытаны конструкции крепи с использованием анкеров СЗА в составе следующих типов усиленных комбинированных видов крепи.

1. В породах средней (III) категории устойчивости: СЗА-Армокрепь – торкретбетон. В состав крепи входят анкер СЗА $d=48$ мм, $L=2050$ мм со стандартной опорной плитой 200×200 мм, армокаркасы размером 950×950 мм. Технология крепления состоит из двух этапов: этап 1 – в забое по периметру кровли выработки бурятся шпуры, глубиной 2,2 м, в которые производится установка анкеров СЗА совместно с армокаркасами с помощью буровой каретки и специальных устройств (люнет, пуансон). Далее осуществляются работы буровзрывного цикла, проветривание забоя и уборка отбитой породы; этап 2 – после подвигания забоя на 10-15 м производится нанесение слоя торкретбетона толщиной 5-8 см.

2. В породах неустойчивой (IV) категории: СЗА-Армокрепь – торкретбетон. В состав крепи входят анкер СЗА $d=48$ мм, $L=2050$ мм со стандартной опорной плитой 200×200 мм, армокаркасы размером 950×950 мм. Технология крепления состоит из трех этапов: этап 1 – в забое по периметру кровли и бортов выработки бурятся шпуры, глубиной 2,2 м, в которые производится установка анкеров СЗА совместно с армокаркасами с помощью буровой каретки и специальных устройств (люнет, пуансон). Далее осуществляются работы буровзрывного цикла, проветривание забоя и уборка отбитой породы; этап 2 – после подвигания забоя на 10-15 м производится нанесение слоя торкретбетона толщиной 5-8 см; этап 3 – доведение слоя торкрет-бетонной крепи до общей толщины 12-15 см.

3. В породах неустойчивой (IV) категории: СЗА-Армокрепь – торкретбетон – УКК – торкретбетон. В состав крепи входят анкер СЗА $d=48$ мм, $L=2450$ мм, армокаркасы размером 950×950 мм, плита опорная УКК, сетка листовая. Технология крепления состоит из 4-х этапов: этап 1 – по периметру выработки бурятся шпуры, глубиной 2,6 м, в которые производится установка анкеров СЗА с помощью буровой каретки и специальных устройств (люнет, пуансон) совместно с армокаркасами и плитой опорной УКК; этап 2 – производится нанесение слоя торкретбетона толщиной 3-5 см, покрывающего армокаркасы; этап 3 – поверх слоя торкретбетона производится навеска листовой сетки, закрепляемой к опорной плите анкера СЗА; этап 4 – поверх сетки наносится второй слой торкретбетона до

полного ее покрытия (толщина до 12-15 см). В итоге получается грузонесущая конструкция, поддерживающая породы в контурах выработок за счет анкеров и создаваемого слоя торкретбетона общей толщиной 12-15 см, работающего как монолитный бетон с двойной армировкой.

4. В породах неустойчивой (IV) и весьма неустойчивой (V) категории, подверженных интенсивному изменению прочностных свойств и потере устойчивости в результате воздействия шахтной атмосферы: торкретбетон – СЗА– Армокрепь – торкретбетон – УКК – торкретбетон. В состав крепи входят анкер СЗА $d=48$ мм, $L=2450$ мм, армокаркасы размером 950x950 мм, плита опорная УКК, сетка листовая. Технология крепления состоит из 5-ти этапов: этап 1 – после производства взрывных работ и отгрузки горной массы по периметру выработки вновь образованной уходки наносится покрывающий, защитный, слой торкретбетона толщиной 1-3 см; этап 2 – по периметру выработки бурятся шпурсы, глубиной 2,6 м, в которые производится установка анкеров СЗА с помощью буровой каретки и специальных устройств (люнет, пуансон) совместно с армокаркасами и плитой опорной УКК; этап 3 – производится нанесение слоя торкретбетона толщиной 3-5 см, покрывающего армокаркасы; этап 4 – поверх слоя торкретбетона производится навеска листовой сетки, закрепляемой к опорной плите анкера СЗА; этап 5 – поверх сетки наносится второй слой торкретбетона до полного ее покрытия (общая толщина до 12-15 см).

Также во всех случаях крепления необходимо учитывать, что в породах, склонных к потере устойчивости в результате влагонасыщения необходимо максимально сократить воздействие влаги, например, бурение шпуров производить без промывки.

4.3. Оценка напряженно-деформированного состояния массива в контурах подготовительных выработок, закрепленных с использованием анкеров фрикционного типа

Перед проведением соответствующих опытно-промышленных испытаний технологии крепления выработок конструкциями крепи на основе анкеров СЗА

проведены проверочные исследования состояния массива закрепленных контуров выработок.

Анкеры в программном комплексе Prorock представляют собой разрушающиеся линейные (1D) элементы, которые работают на растяжение и разрушаются при достижении максимальной деформации. Элементы претерпевают упругое, пластическое нелинейное допредельное (то есть до достижения прочности) и нелинейное запредельное деформирование. Для расчетов МКДЭ использована модель, аналогичная описанной в предыдущей главе настоящей диссертации, рассчитанной методом конечных элементов в программе Phase2. В связи с этим некоторые особенности моделирования методом КДЭ описываются в сравнении с МКЭ, реализованным в Phase2.

В отличие от Phase2, в Prorock график деформирования максимально приближен к реальному графику деформирования, а не представляет собой его грубую линейно-кусочную аппроксимацию. Диаграмма деформирования строится по аналогии со схемой, определяющей напряжения связи в трещинных элементах (в том числе пиковое напряжение, называемое прочностью на растяжение) в зависимости от деформации. На основе результатов исследований деформационных характеристик анкерных крепей [166] установлены параметры деформаций и энергопоглощающей способности различных конструкций анкеров (рисунок 4.35). Параметры приведенного на рисунке 4.35 графика уточнены в соответствии с фактическими результатами испытаний анкеров, представленными на рисунке 4.36.

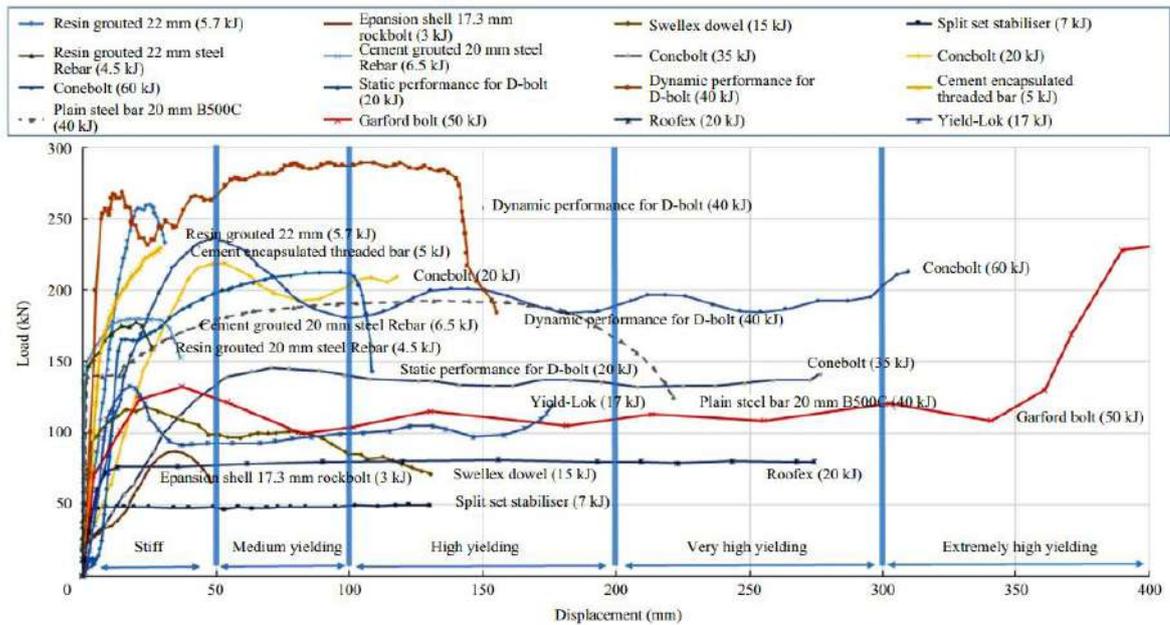


Рисунок 4.35. График деформирования анкеров различных типов

Второе ключевое отличие от Phase2 заключается в том, что анкера будут разрушаться при достижении предельной деформации растяжения (в отличие от линейного снижения до остаточной прочности без возможности разрушения в Phase2). Это важное преимущество метода конечно-дискретных элементов, который позволяет в явном виде моделировать процессы разрушения. То есть при превышении максимальной остаточной деформации анкер перестает удерживать элементы модели.

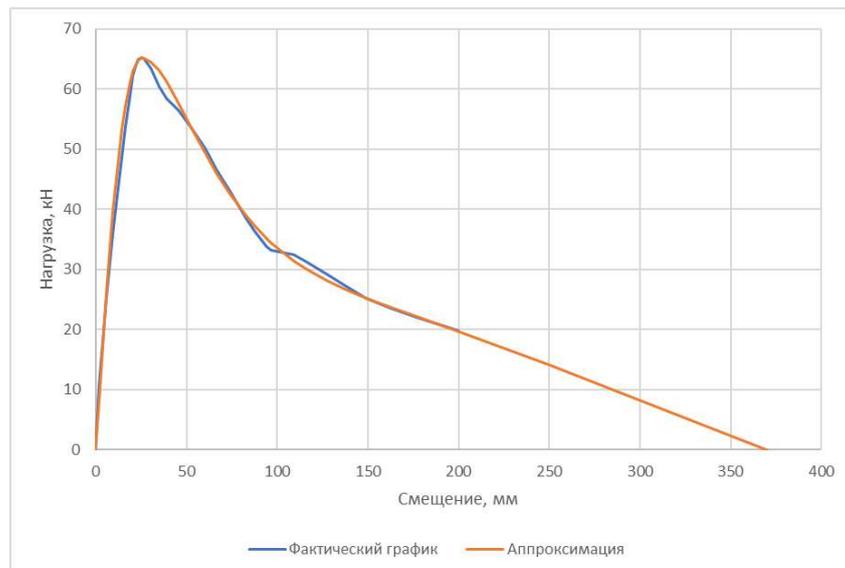


Рисунок 4.36. Фактический и принятый для моделирования графики деформирования

Пиковая деформация анкеров рассчитана из графика, исходя из длины анкера 3,0 м, ее величина составила $\varepsilon_p = 25,2 \text{ мм}/3,0 \text{ м} = 0,0084$ (0,84%). За предельную остаточную деформацию принята величина $\varepsilon_r = 380 \text{ мм}/3,0 \text{ м} = 0,127$ (12,7%).

На рисунке 4.36 показано сравнение фактического графика деформирования анкера с нелинейной аппроксимацией, принятой для внедрения в расчетную программу.

График на рисунке 4.36 отражает калибровку фактической кривой с рисунком 4.35. Для геомеханической модели несущая способность принята равной 70 кН при диаметре анкера 48 мм, длина анкеров – равной 2,25 м, расстояние между анкерами – 0,9 м.

Преднатяжение анкеров в модели не воспроизводится в соответствии с техническими особенностями применяемых анкеров типа СЗА. Анкера начинают работать после достижения смещения боков и кровли выработки 10 мм. Данная величина установлена по итогам расчета в RocSupport в предыдущих главах настоящей диссертации.

Все использованные для моделирования параметры анкеров сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Механические параметры и размеры анкеров, принятые для моделирования

Несущая способность, кН	70	Пиковая деформация	0,0084
Диаметр анкера, мм	48	Максимальная остаточная деформация	0,127
Длина анкеров, м	2,25	Преднатяжение, кН	–
Шаг установки, м	0,9	Смещение до установки анкеров, мм	10

Свойства пород и трещин в МКДЭ-модели приняты такие же, что и в ранее описанной МКЭ-модели.

В отличие от ранее описанной МКДЭ-модели не воспроизводится снижение прочности пород со временем, так как принято, что торкретирование выработки позволит исключить контакт пород с водой и шахтным воздухом.

Внешний вид МКДЭ-модели из программы Prorock представлен на рисунке 4.37. Слева на рисунке изображена небольшая область вокруг выработки. Показана трещиноватость области вокруг выработки. Отрезками фиолетового цвета показаны анкера. Справа на рисунке представлен полный вид модели. Внешняя область модели не содержит трещинные элементы, то есть процессы разрушения в ней не воспроизводятся. Иначе говоря, данная область задана в виде упругого сплошного материала.

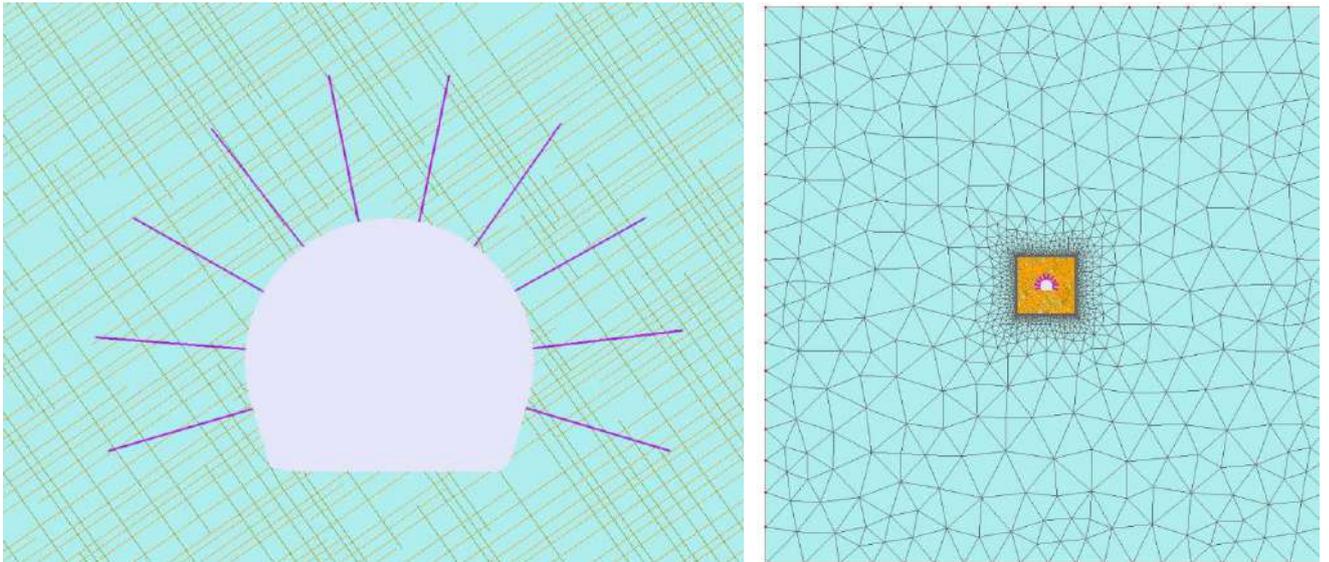


Рисунок 4.37. Графическое представление области вокруг закрепленной анкерами выработки в МКДЭ модели в Prorock

На рисунке 4.38 представлены результаты выполненного моделирования, отражающие динамику развития деформаций в закрепленной выработке.

Окраска конечных элементов в модели зависит от величины дифференциальных напряжений. Данный вид отображения позволяет отслеживать обособление отдельных структурных блоков, вследствие которого происходит снижение напряженности в блоке.

Верхний левый фрагмент рисунка 4.38 отображает момент проходки выработки, когда забой еще не удался от рассматриваемого сечения выработки на расстояние, достаточное для пренебрежения его влиянием на НДС вокруг выработки. Остальные фрагменты рисунка показывают развитие деформаций при

приращении шагов вычислений. Обозначение cs означает шаг расчета (англ. computation step).

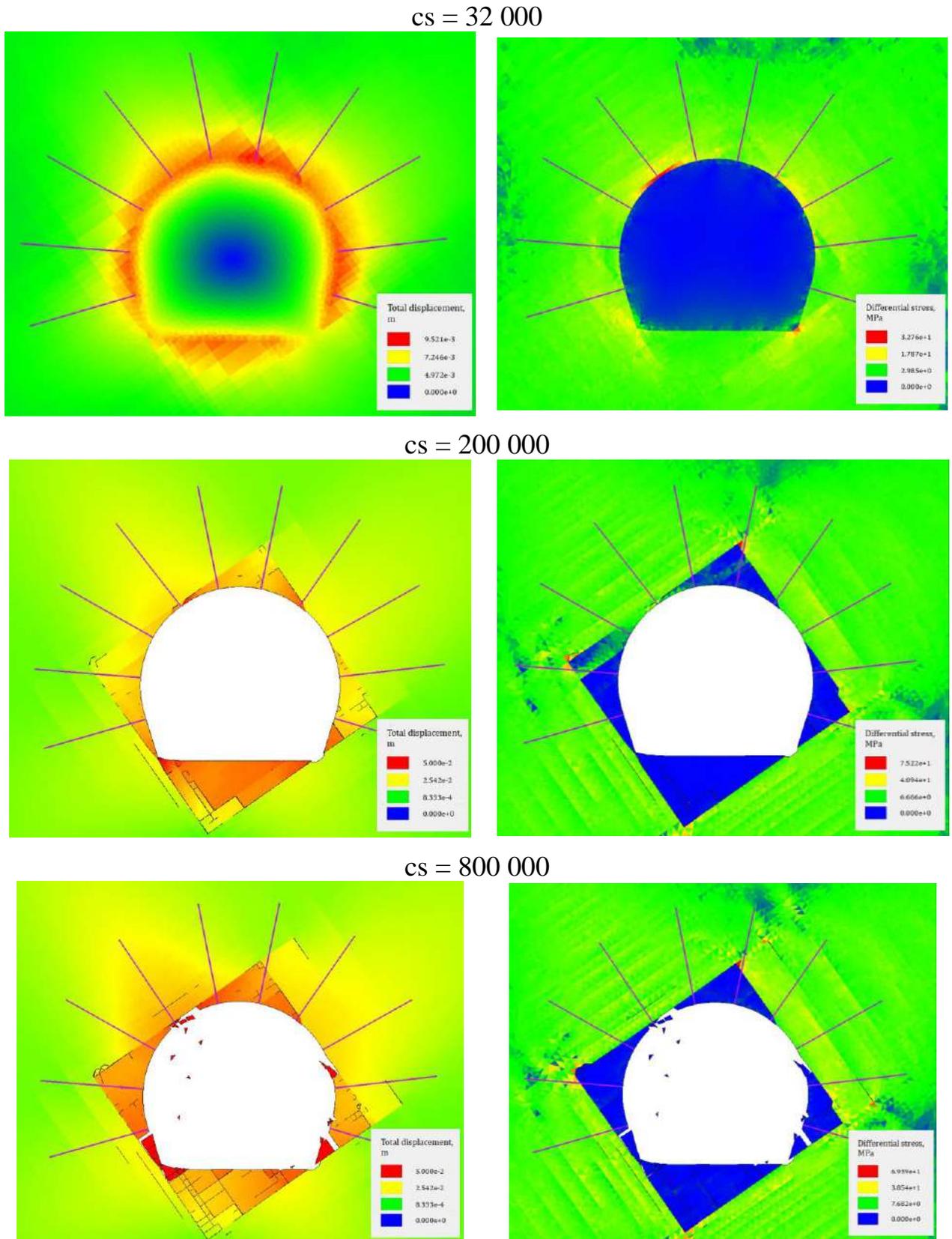


Рисунок 4.38. Развитие деформаций в закрепленной выработке (Модель 1)

Анализируя результаты моделирования, в том числе представленные на рисунке 4.38, можно сделать следующие выводы.

1. В целом выбранная схема крепления при принятых ее параметрах обеспечивает устойчивость выработки. Крупных вывалов и тем более разрушения выработки не происходит.

2. В модели наблюдаются небольшие вывалы отдельных структурных блоков между анкерами. Однако устойчивость этих блоков должна быть обеспечена торкретированием выработки, которое не учитывается в разработанной численной модели.

3. За периметром выработки происходит отделение по трещинам структурных блоков (отличаются на рисунке 4.38 сниженным дифференциальным напряжением) в результате изменения НДС окружающего массива при проходке выработки, однако размер этих блоков не превышает длину анкеров, а их несущая способность достаточна для удержания обособившихся блоков. Благодаря этому устойчивость данных блоков обеспечивается.

4. Образование новых трещин в массиве не происходит за границами закрепленного массива.

5. Если не принимать во внимание вывалившиеся куски породы, смещение на границах выработки достигают 3-5 см. Если учесть смещения в момент начала работы анкеров ($c_s = 32000$), то смещения составляют 2-4 см.

На рисунке 4.39 показана модель зависимости от смещения относительно друг друга конечных элементов – смещения по трещинным элементам. Данный вид отображения показывает степень нарушенности сдвигом трещинных элементов.

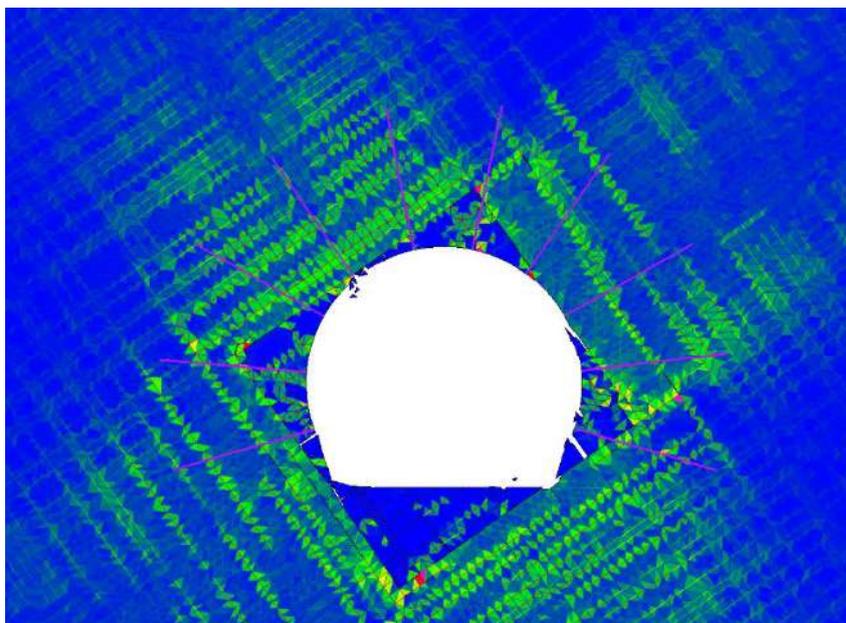


Рисунок 4.39. Деформация трещинных элементов вокруг выработки

Анализ рисунка 4.39 показывает, что запредельное деформирование происходит вокруг выработки лишь на небольшом расстоянии и с небольшой амплитудой. На пределе (красный цвет, запас смещения менее 20%) находятся единичные элементы на контакте массива с обособленными структурными блоками. Запас смещения менее 50 % (желтый цвет) характерен примерно для тех же областей. В основном массив вокруг выработки характеризуется допредельным (упругим и упругопластическим) деформированием.

Анкера закреплены в массиве за границами области запредельного деформирования, что показывает достаточно большую надежность выбранной схемы крепления с позиций управления НДС вокруг выработки.

Физико-механические свойства горных пород для моделирования представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Физико-механические свойства горных пород для моделирования

Предел прочности на растяжение σ_p , МПа	Угол внутреннего трения γ , град	Сцепление C , МПа	Динамический модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$, МПа	Коэффициент Пуассона μ	Часы
7	33	17	9,9	0,26	0
5,3	30,0	12,8	7,4	0,25	6
3,9	27,0	9,6	5,6	0,24	12
3,0	24,0	7,2	4,2	0,23	24

Величина горного давления принята $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 16,2$ МПа.

Трещиноватость – две взаимно перпендикулярные системы трещиноватости со средним расстоянием между трещин 500 мм.

Для моделирования приняты следующие варианты крепления:

- а) вариант 1 – набрызгбетон толщиной 50 мм;
- б) вариант 2 – фрикционные анкеры СЗА диаметром 48 мм + Армокрепь;
- в) вариант 3 – фрикционные анкеры СЗА диаметром 48 мм + Армокрепь + набрызгбетон, толщиной 50 мм;
- г) вариант 4 – фрикционные анкеры СЗА диаметром 48 мм + Армокрепь + набрызгбетон, толщиной 100 мм;
- д) вариант 5 – фрикционные анкеры СЗА диаметром 48 мм + Армокрепь + набрызгбетон, толщиной 150 мм;
- е) вариант 6 – изолирующий слой набрызгбетона - фрикционные анкеры СЗА диаметром 48 мм + Армокрепь + набрызгбетон, толщиной 150 мм.

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения и в течение 6, 12, 24 часов с последующим закреплением набрызгбетоном, толщиной 50 мм, представлено на рисунках 4.40-4.43.

По результатам моделирования установлено, что сразу после обнажения выработка, закрепленная набрызгбетоном, сохраняет свою устойчивость. После 12 часов стояния наблюдаются локальные зоны разрушения горных пород. После 24 часов в бортах выработки коэффициент запаса ниже значения 1,3, возможно разрушение набрызгбетонной крепи.

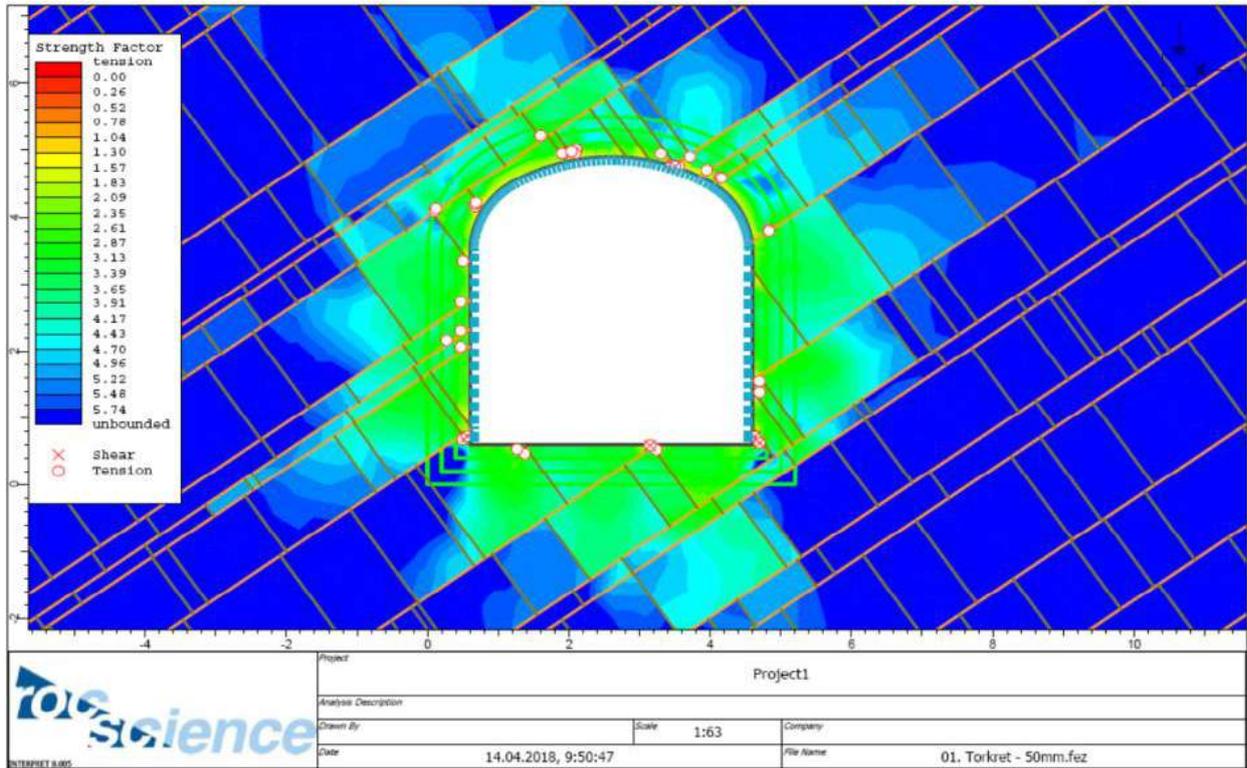


Рисунок 4.40. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после обнажения с последующим закреплением набрызгбетоном, толщиной 50 мм

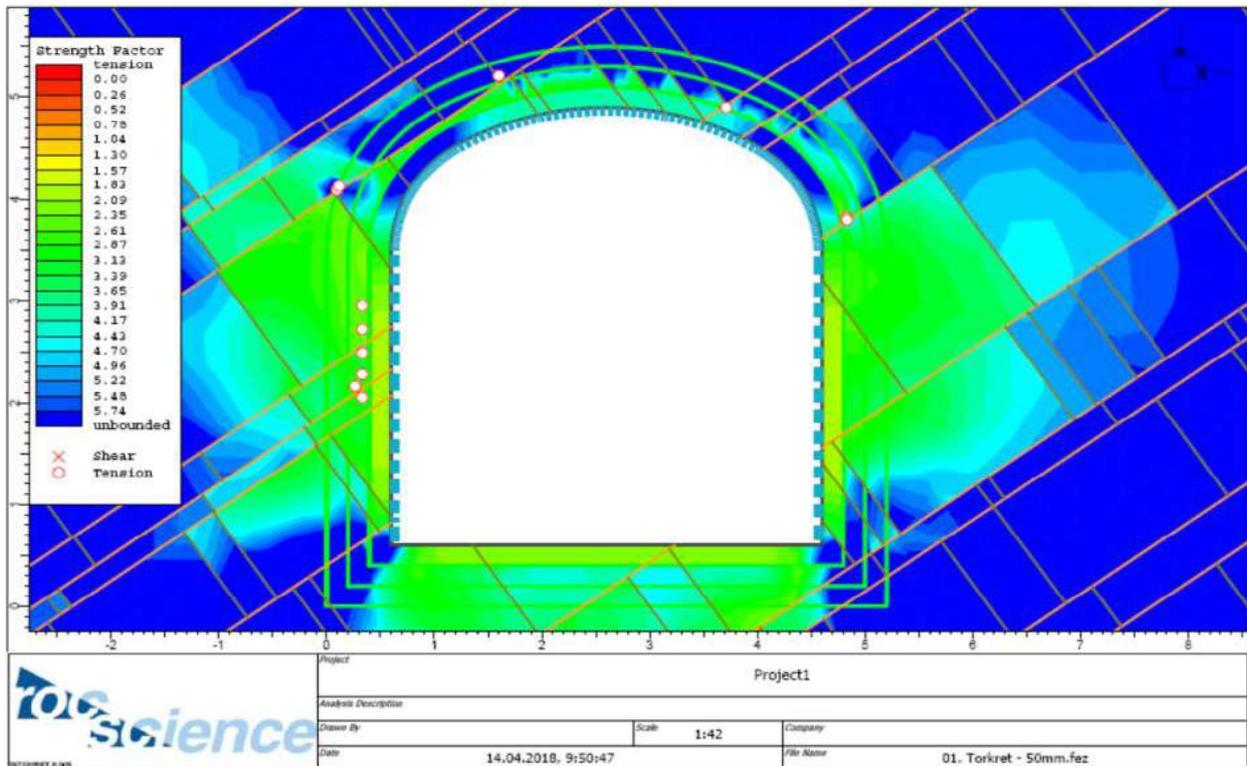


Рисунок 4.41. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 6 часов с последующим закреплением набрызгбетоном, толщиной 50 мм

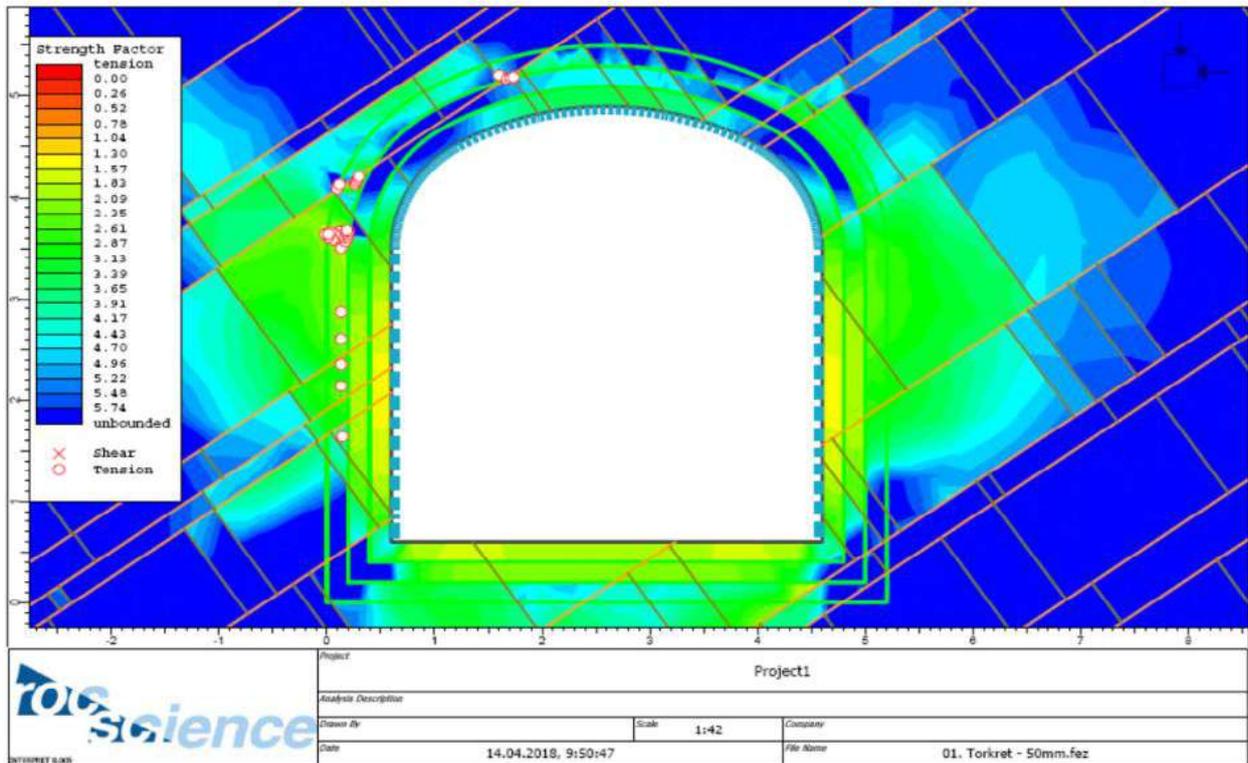


Рисунок 4.42. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 12 часов с последующим закреплением набрызгбетоном, толщиной 50 мм

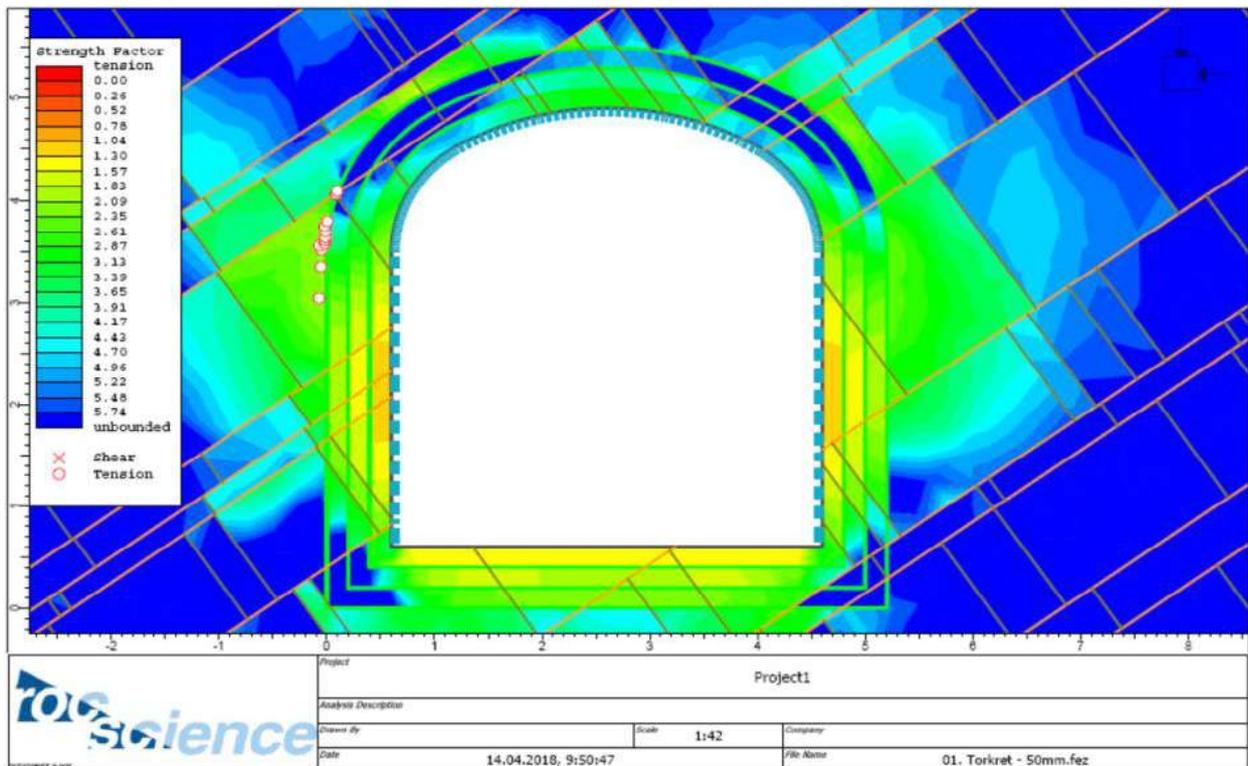


Рисунок 4.43. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 24 часов с последующим закреплением набрызгбетоном, толщиной 50 мм

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения и в течение 6, 12, 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА и армокаркасами представлено на рисунках 4.44-4.47.

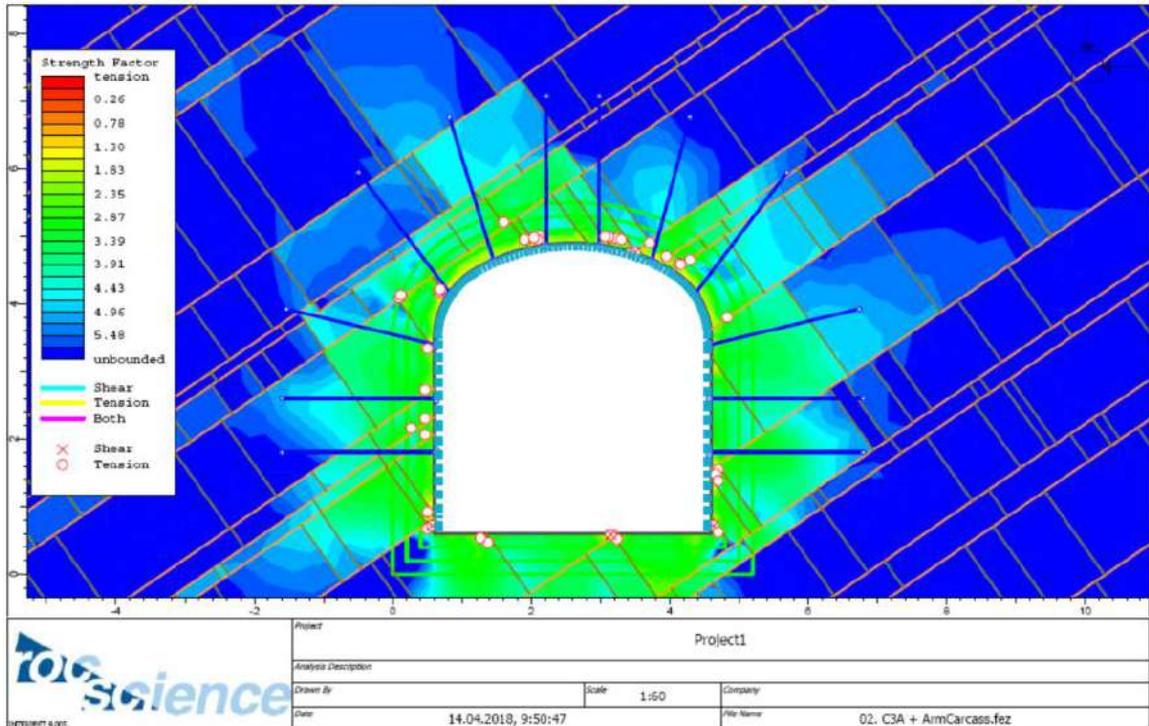


Рисунок 4.44. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после обнажения с последующим закреплением контуров анкерами СЗА и армокаркасами

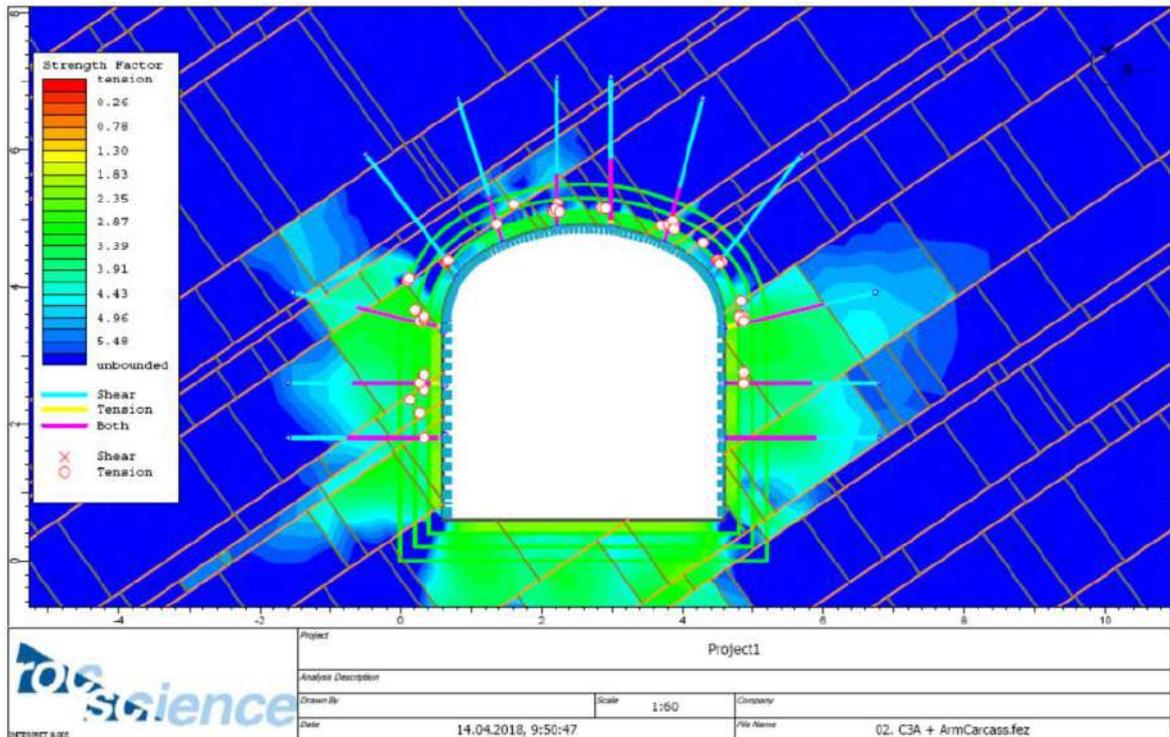


Рисунок 4.45. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 6 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА и армокаркасами

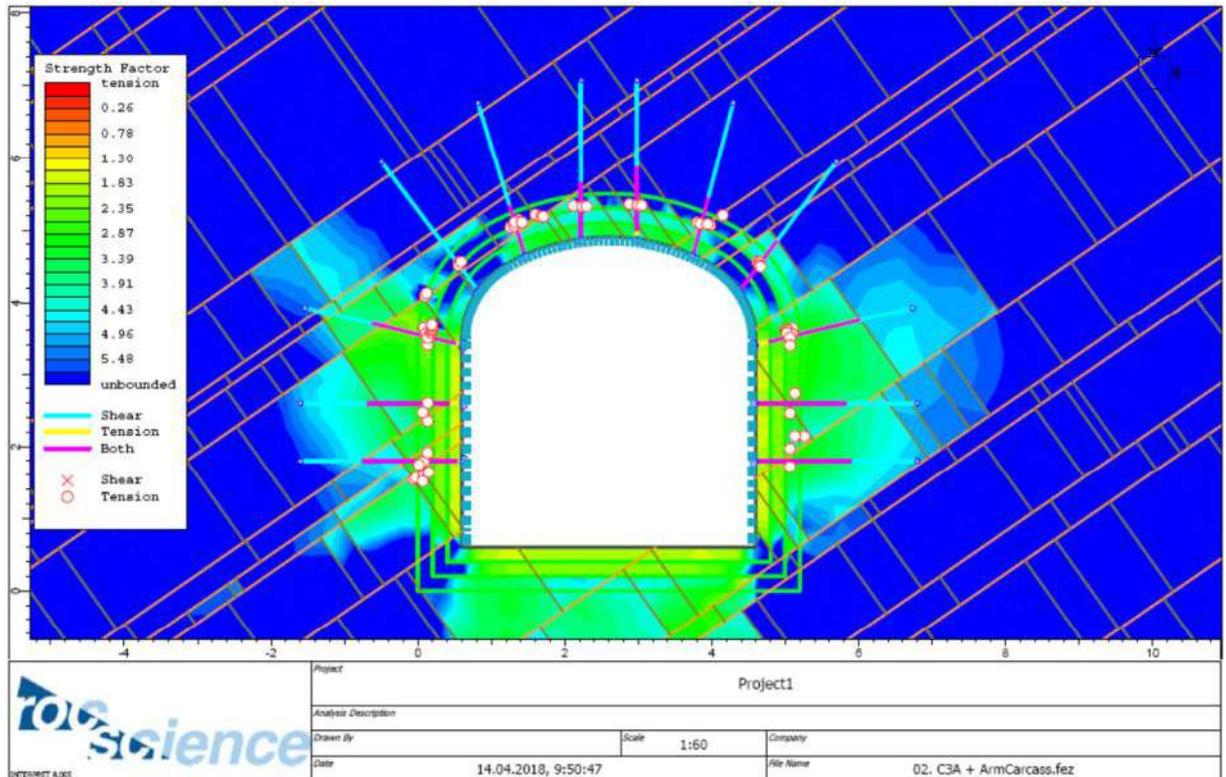


Рисунок 4.46. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 12 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА и армокаркасами

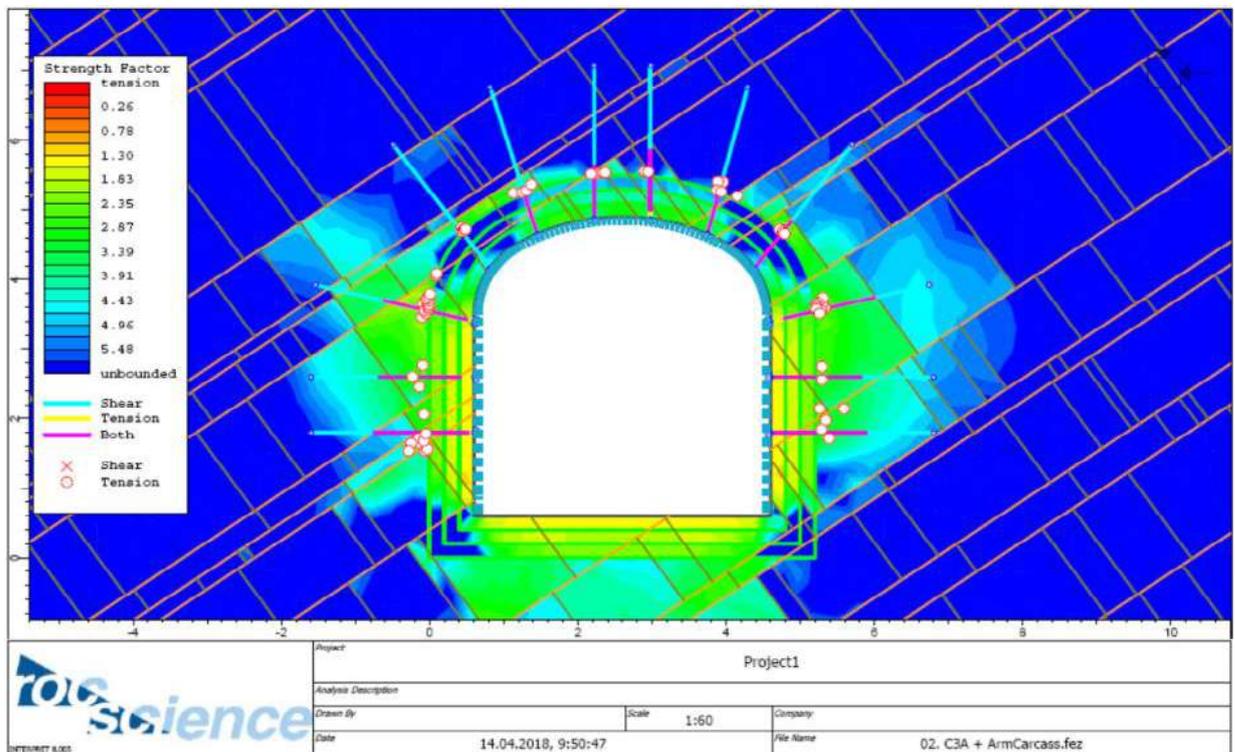


Рисунок 4.47. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА и армокаркасами

Результаты моделирования показывают, что сразу после обнажения выработка, закрепленная набрызгбетоном, сохраняет свою устойчивость. Однако в местах трещин возможны локальные разрушения породы, вывалы которой предотвращает армокаркас. В интервале от 12 часов до 24 часов стояния наблюдаются локальные зоны разрушения горных пород и подвигание зоны разрушения в бортах выработки до половины длины анкеров. После 24 часов в бортах выработки значение коэффициента запаса находится в пределах 1,3, возможно смещение горной крепи в выработку.

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения и в течение 6, 12, 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и набрызгбетоном, толщиной 50 мм, представлено на рисунках 4.48-4.51.

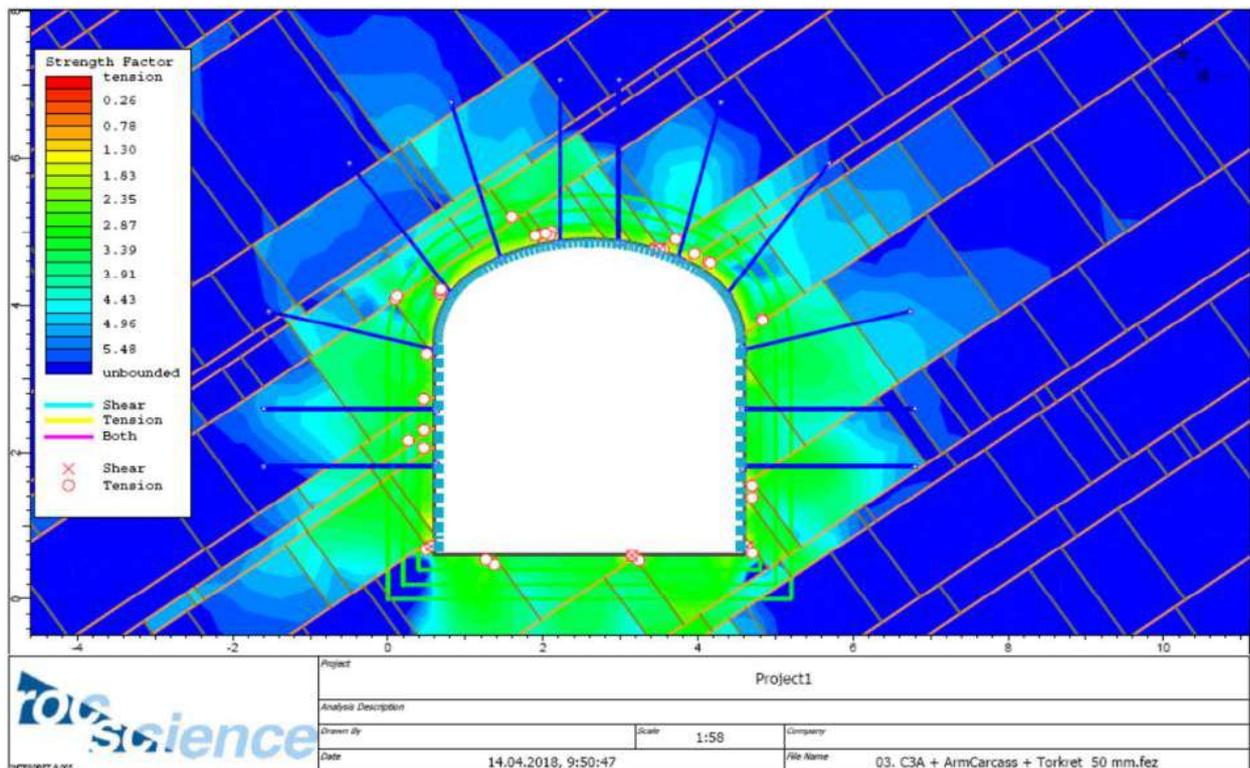


Рисунок 4.48. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после обнажения с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм

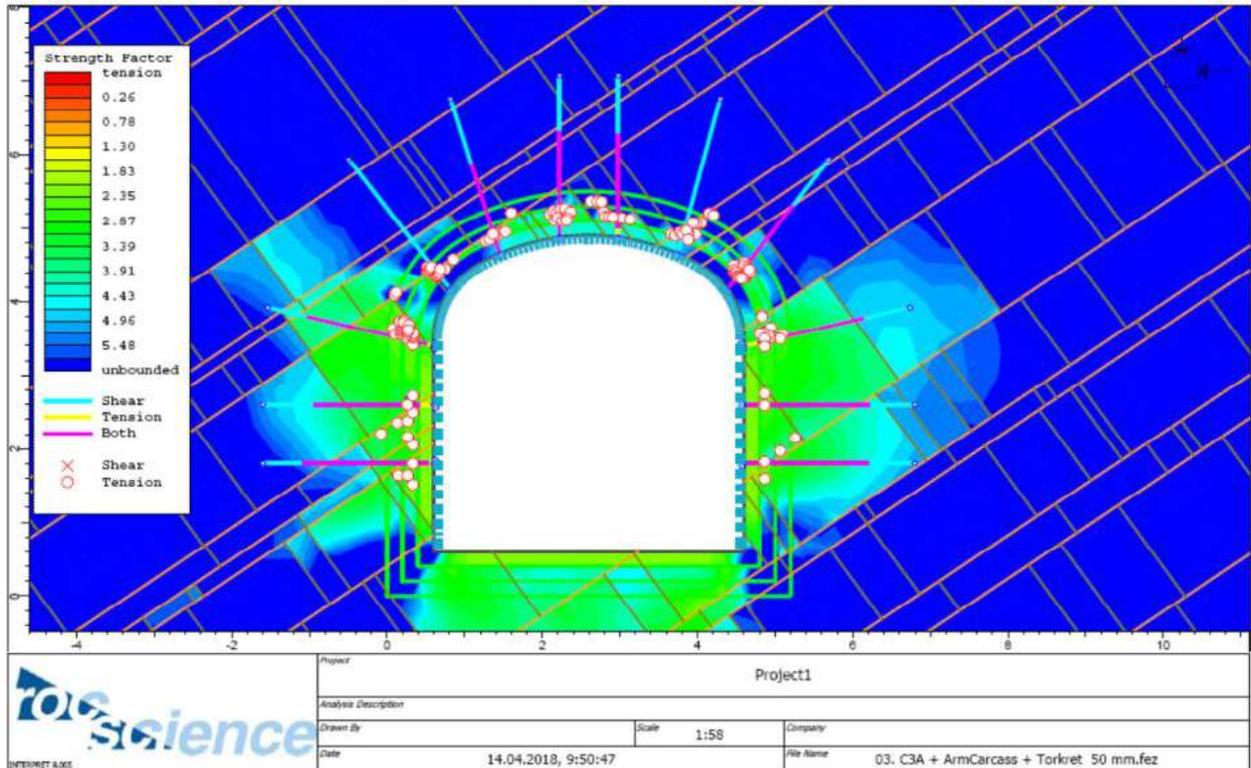


Рисунок 4.49. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 6 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм

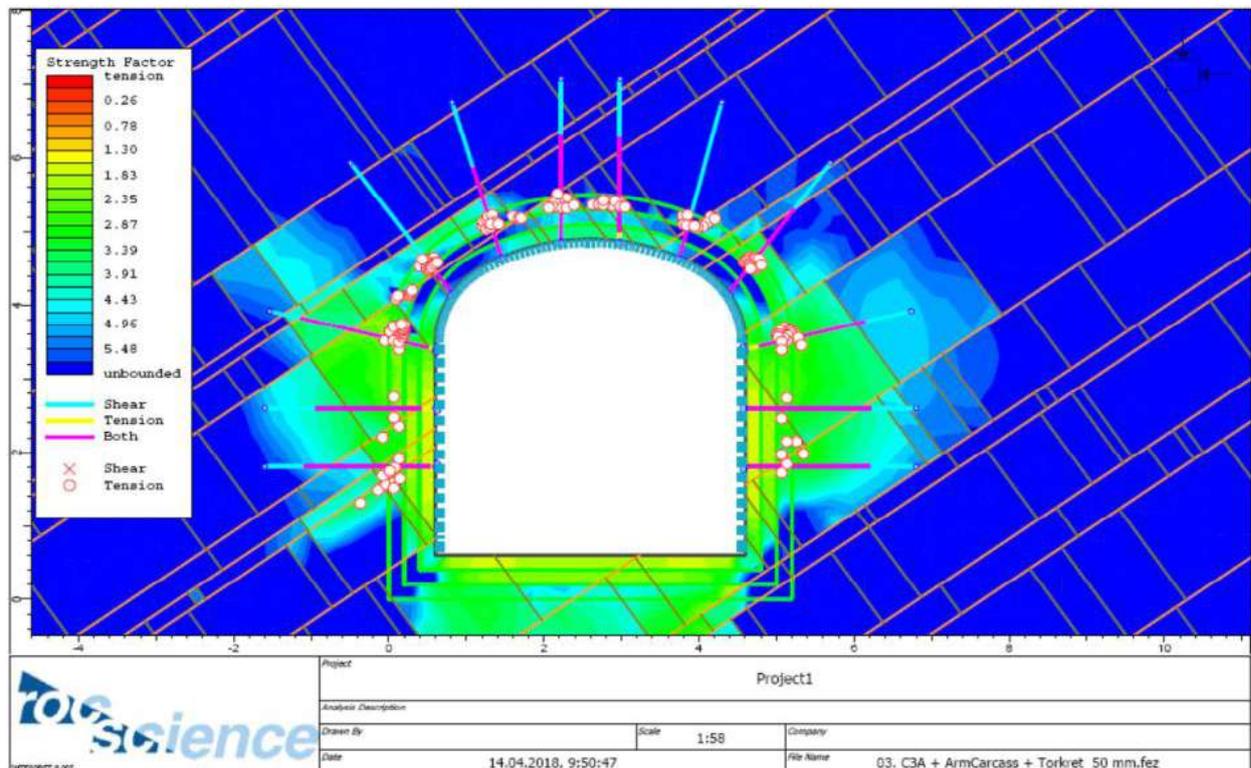


Рисунок 4.50. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 12 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм

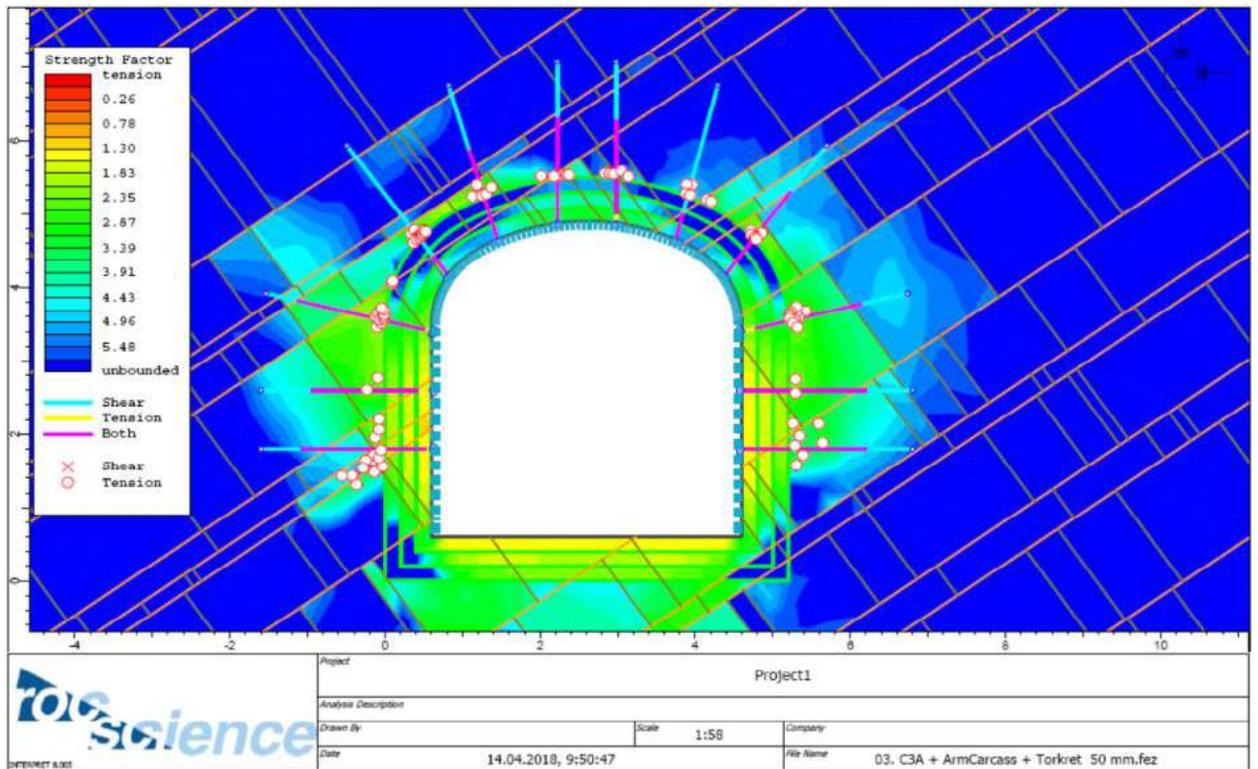


Рисунок 4.51. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм

Анализ значений коэффициентов запаса устойчивости показал, что добавление слоя набрызгбетона усредняет общую картину распределения. Однако наличие набрызгбетона положительно влияет на устойчивость контуров выработки при его нанесении сразу после обнажения.

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения и в течение 6, 12, 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и набрызгбетоном, толщиной 100 мм, представлено на рисунках 4.52-4.55.

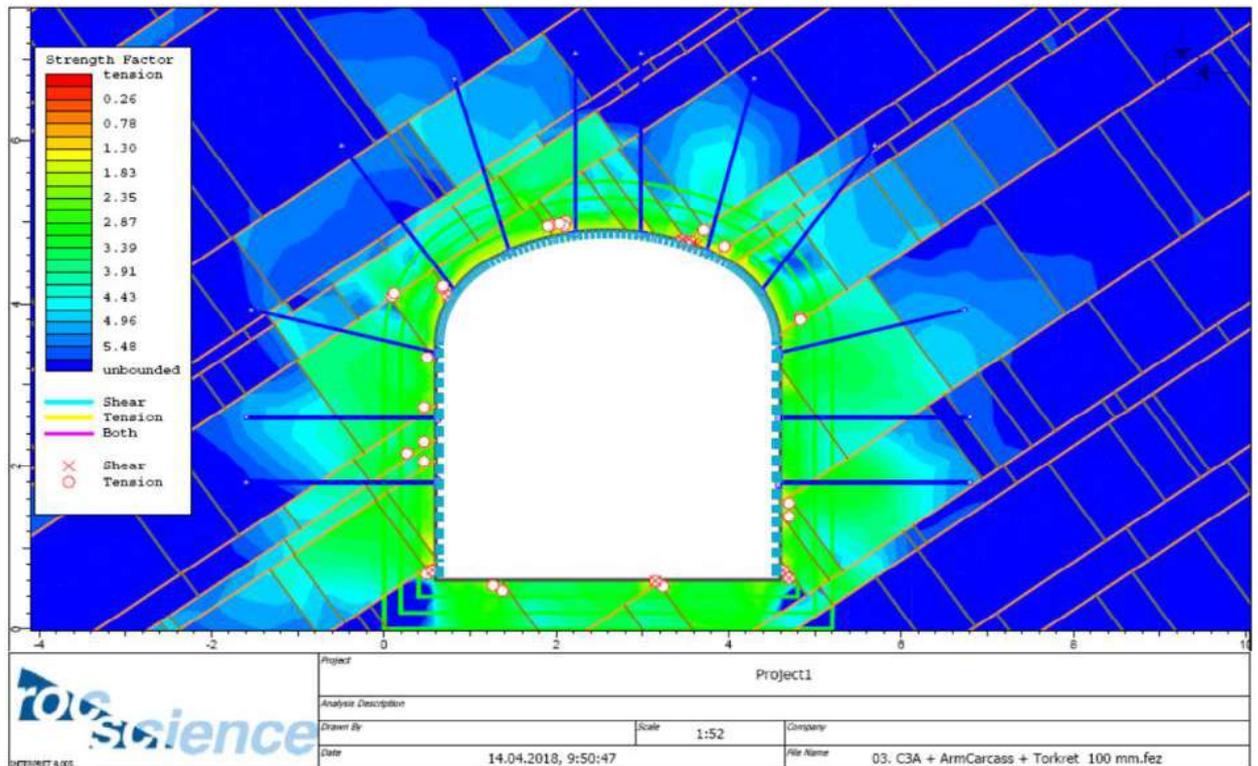


Рисунок 4.52. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после обнажения с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 100 мм

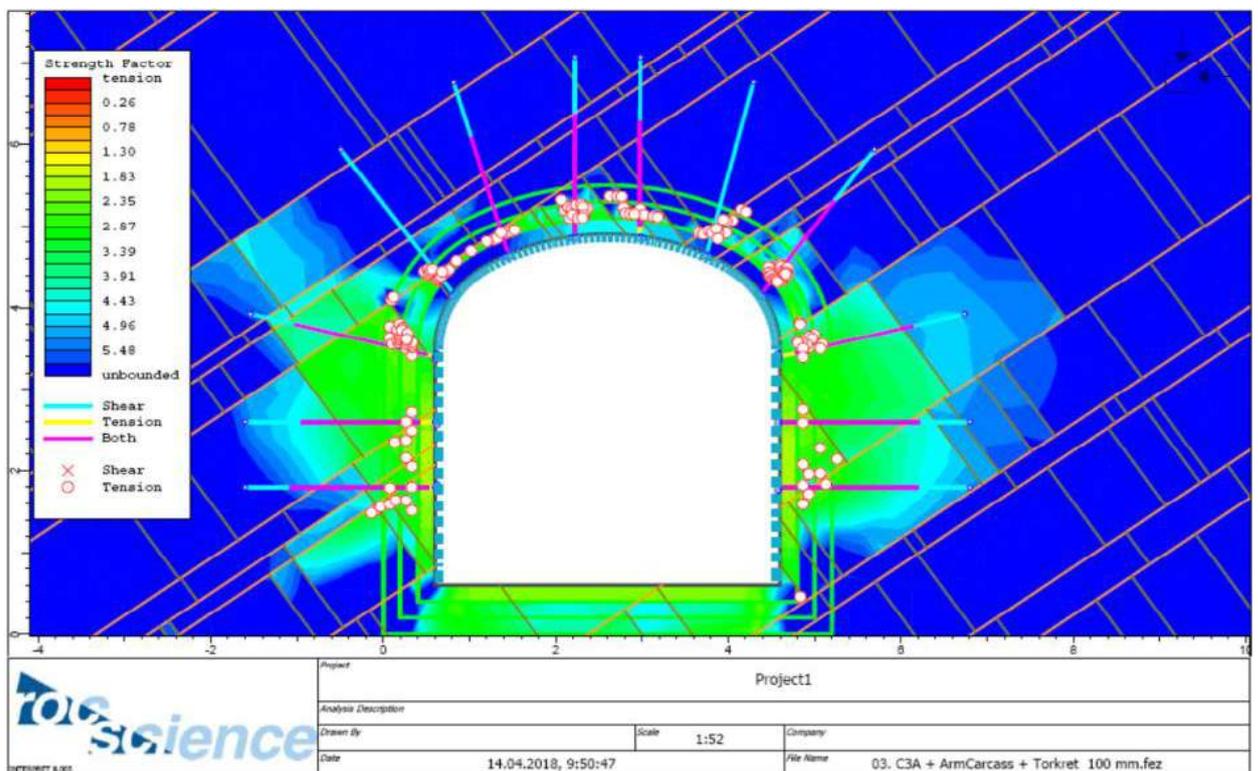


Рисунок 4.53. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 6 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 100 мм

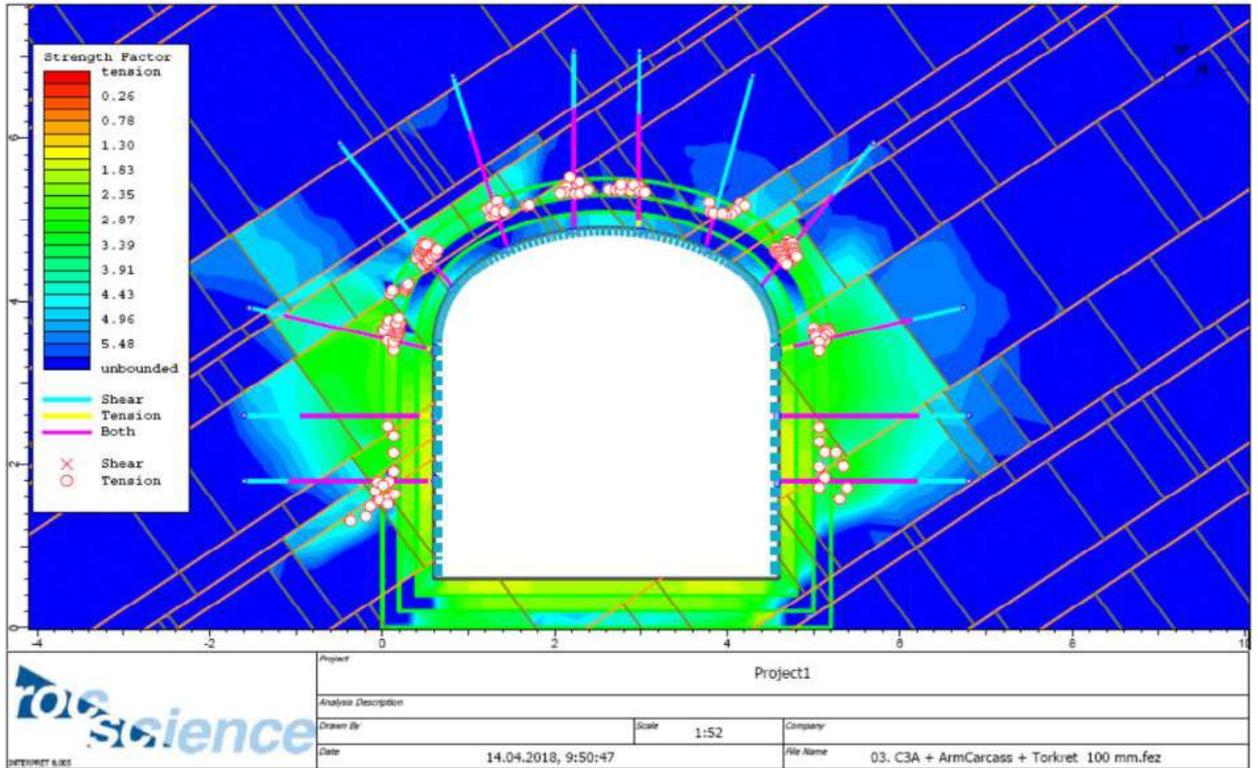


Рисунок 4.54. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 12 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 100 мм

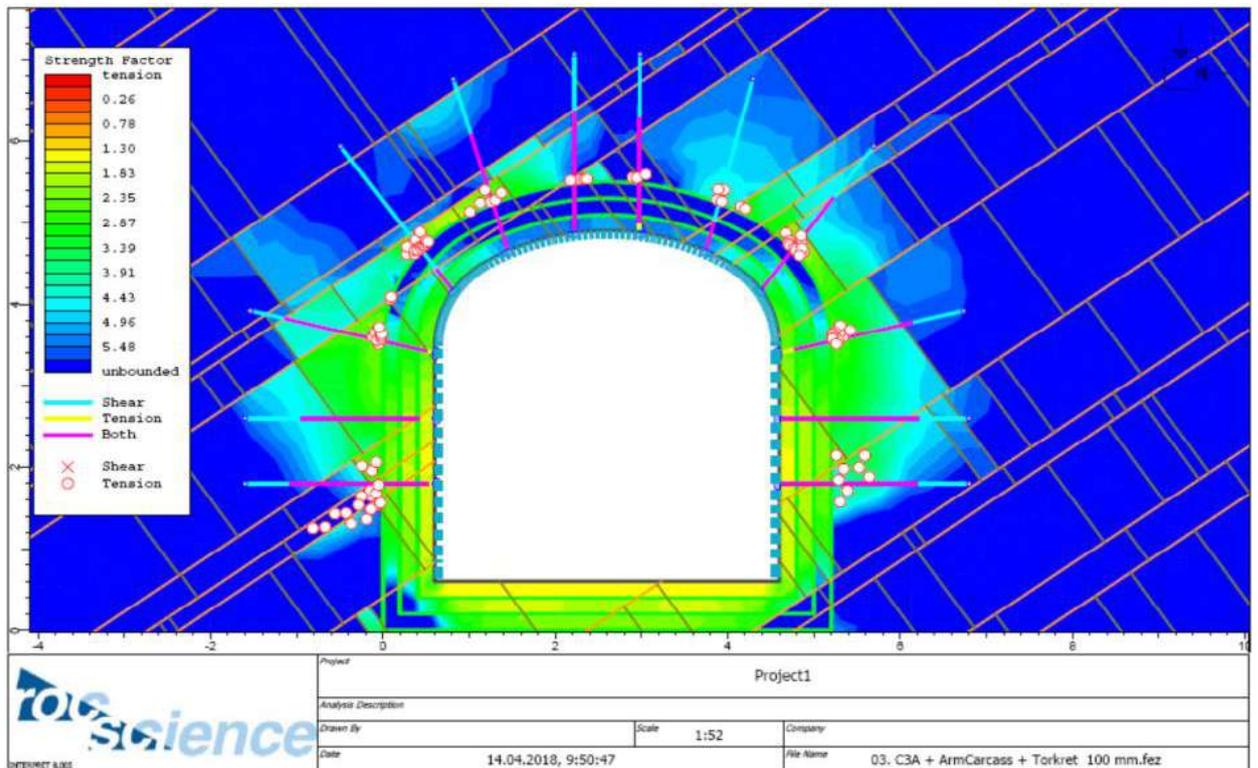


Рисунок 4.55. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 100 мм

Анализ напряжений показывает, что увеличение толщины набрызгбетона с 50 до 100 мм незначительно увеличило показатели коэффициента запаса устойчивости. Данной толщины достаточно для обеспечения устойчивости в породах III-IV категорий.

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения и в течение 6, 12, 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и набрызгбетоном, толщиной 150 мм, представлено на рисунках 4.56-4.59.

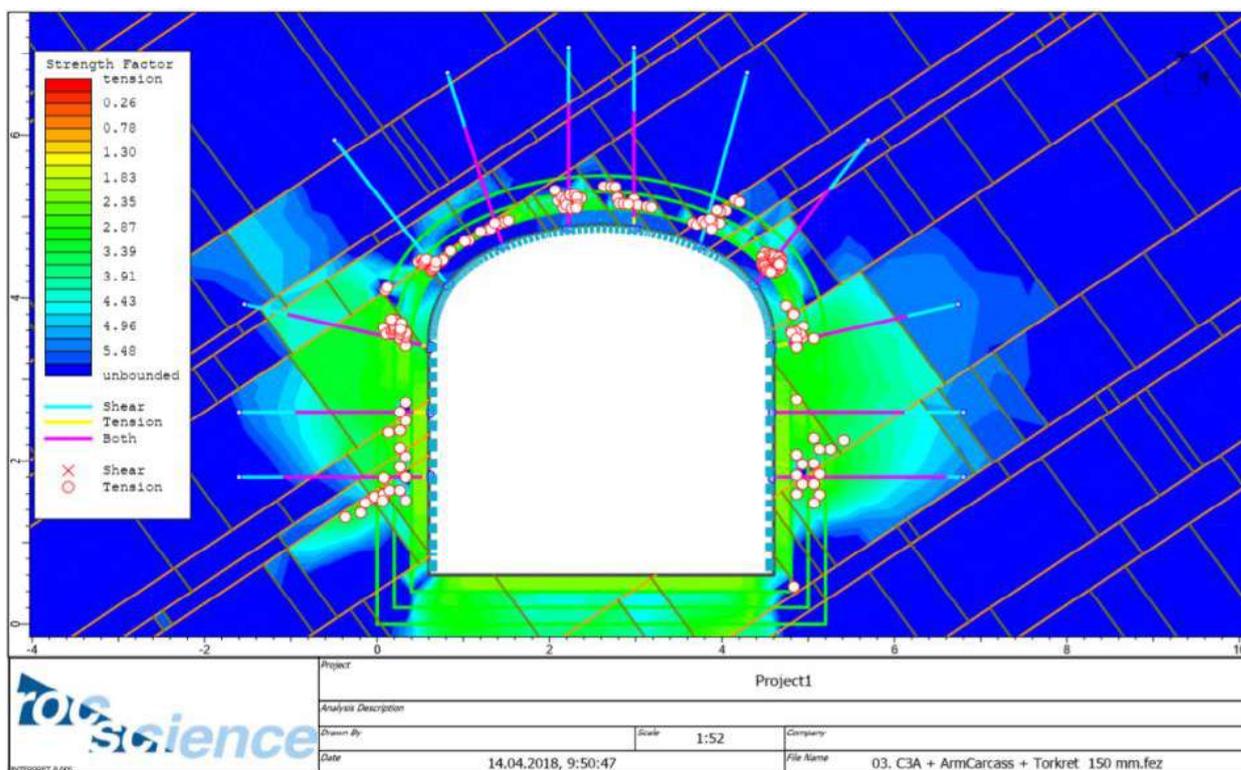


Рисунок 4.56. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после обнажения с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 150 мм

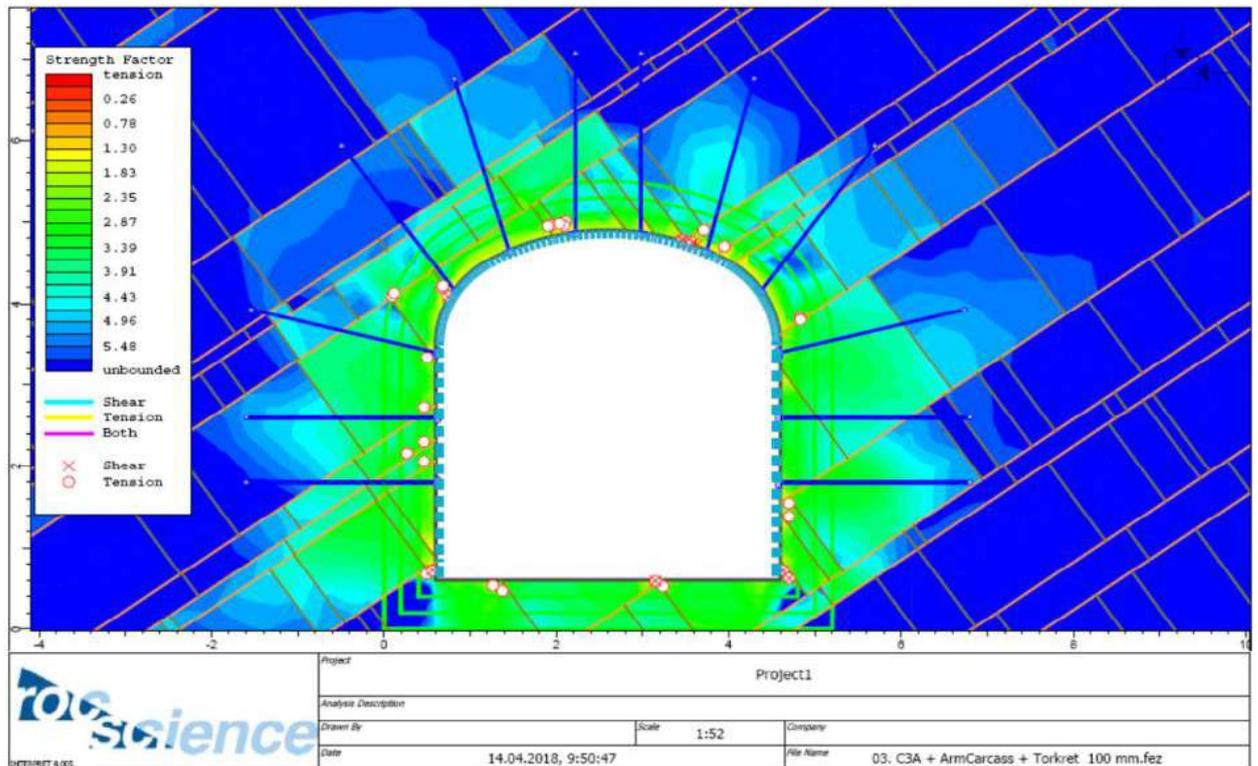


Рисунок 4.57. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 6 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 150 мм

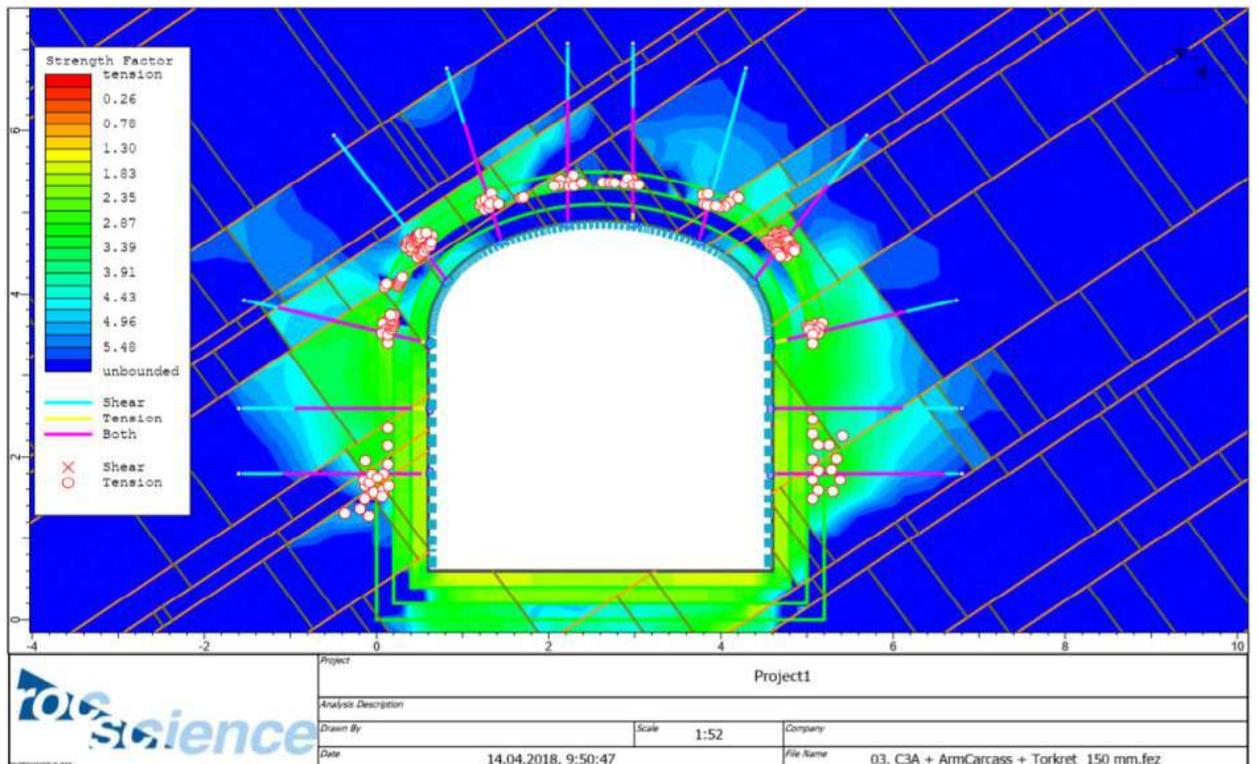


Рисунок 4.58. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 12 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 150 мм

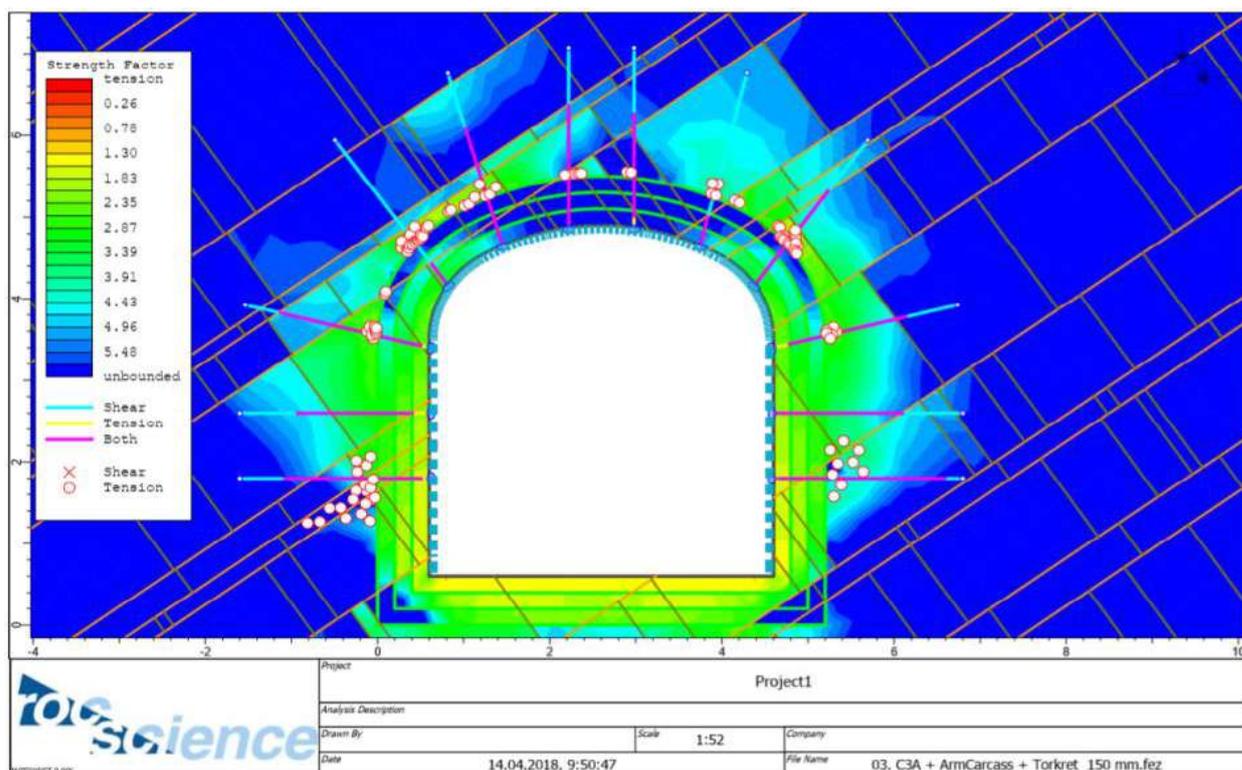


Рисунок 4.59. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород в течение 24 часов с последующим закреплением контуров анкерами СЗА, армокаркасами и слоем набрызгбетона, толщиной 150 мм

Анализ рисунков 4.56-4.59 показал, что увеличение толщины набрызгбетона до 150 мм увеличивает показатели коэффициента запаса устойчивости. Данной толщины набрызгбетона достаточно, чтобы обеспечить устойчивость в породах IV-V категорий.

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения с последующим закреплением контуров изолирующим слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм, представлено на рисунке 4.60.

Анализ показателей распределения коэффициента запаса устойчивости показывает, что нанесение изолирующего слоя набрызгбетона, толщиной 50 мм, не позволяет происходить и со временем развиваться метасоматическим процессам, что благоприятно сказывается на устойчивости контуров выработки.

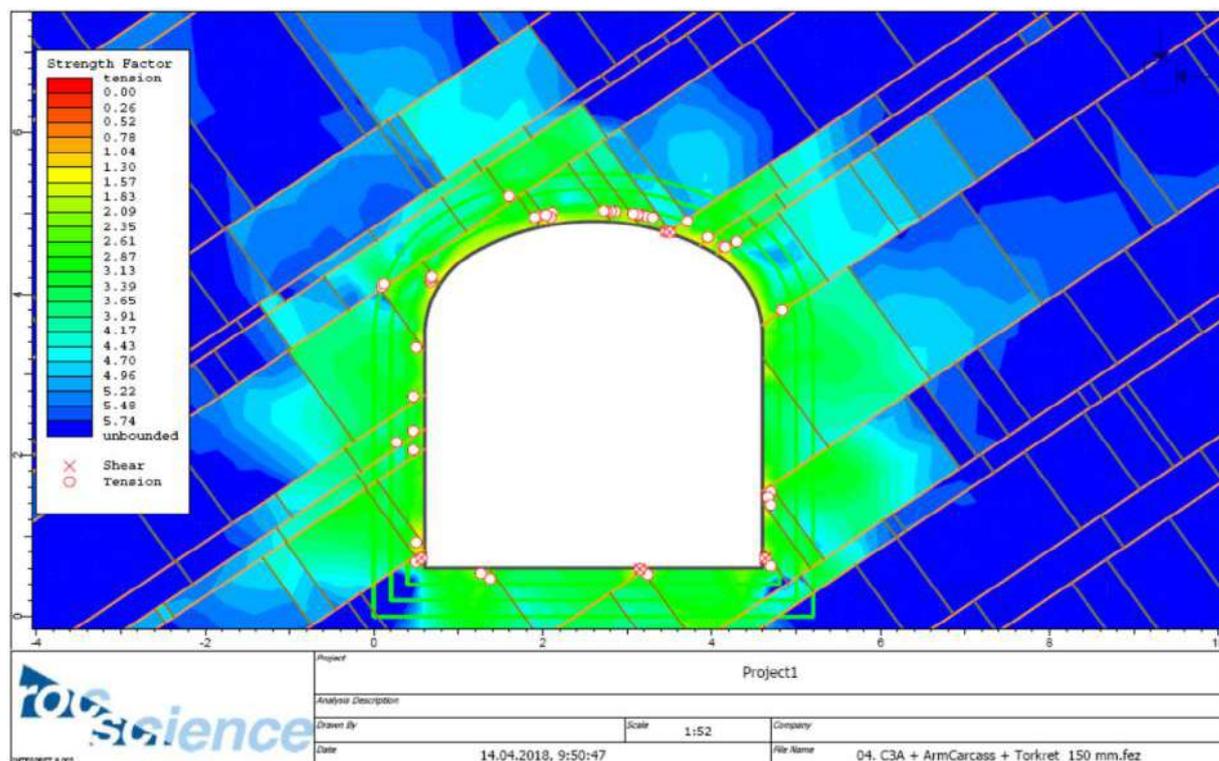


Рисунок 4.60. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения с последующим закреплением контуров изолирующим слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм

Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения с последующим закреплением контуров изолирующим слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм, анкерами СЗА, армокаркасами и последующим слоем до проектной толщины 150 мм, представлено на рисунке 4.61.

Из анализа рисунка 4.61 следует, что нанесение изолирующего слоя набрызгбетона, толщиной 50 мм, не позволяет происходить и со временем развиваться метасоматическим процессам, что при использовании анкерной крепи СЗА с армокаркасами и нанесении второго (несущего) слоя позволит обеспечить устойчивость контуров горных выработок в породах IV-V категорий устойчивости. Коэффициенты запаса устойчивости более 2.

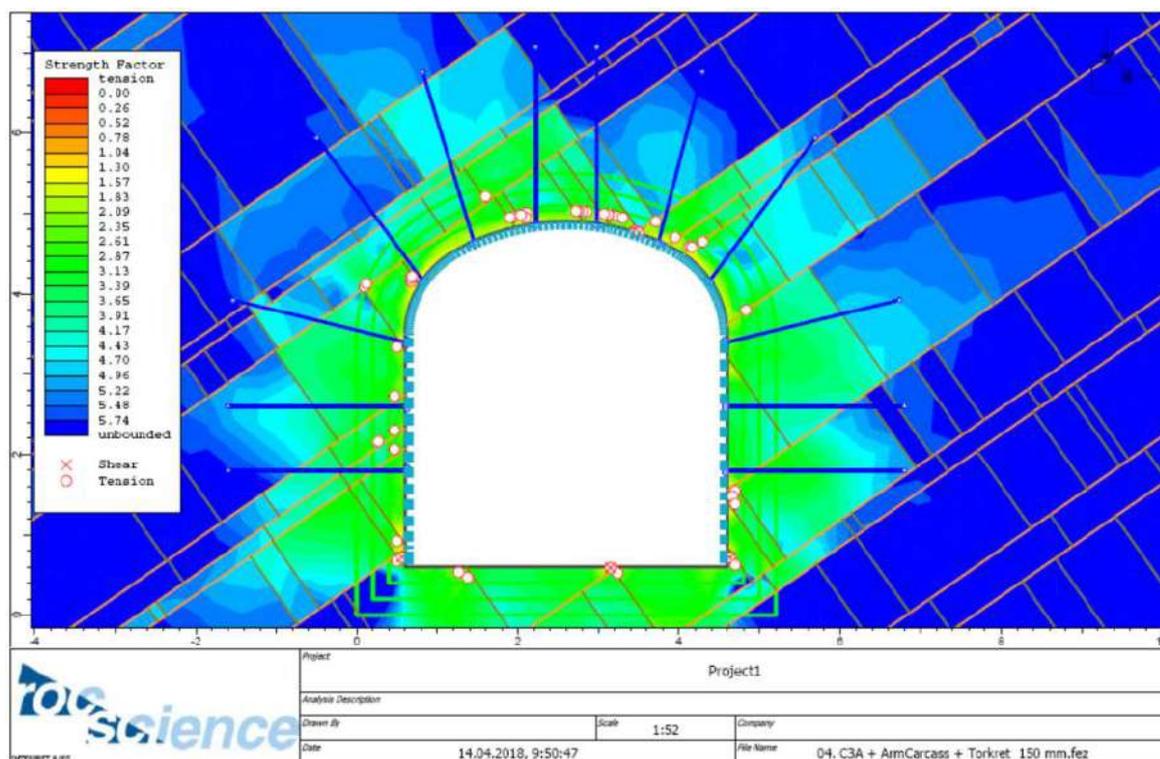


Рисунок 4.61. Распределение коэффициента запаса устойчивости пород сразу после их обнажения с последующим закреплением контуров изолирующим слоем набрызгбетона, толщиной 50 мм, анкерами СЗА, армокаркасами и последующим слоем до проектной толщины 150 мм

Геомеханическое моделирование показало, что происходит активное развитие геомеханических процессов на всех стадиях отработки. Напряжения, возникающие в массиве, значительно ниже прочностных характеристик горных пород в естественном состоянии, поэтому при своевременном креплении горных выработок возможно предотвратить развитие метасоматических процессов и обрушения.

Анализ результатов моделирования устойчивости контура горной выработки при применении СЗА-Армокреп с набрызгбетоном показал, что коэффициент запаса устойчивости по кровле составляет 1,02-1,12, то есть выработка, закрепленная данной конструкцией, находится в устойчивом состоянии. На основании проведенного моделирования конструкция СЗА-Армокреп с набрызгбетоном рекомендуется к испытанию при креплении горных выработок Орловского рудника.

4.4. Крепление сложноструктурных пород

Рассмотрим работу анкерного крепления в условиях возможного расслоения горных пород непосредственно в кровле горных выработок (рисунок 4.62).

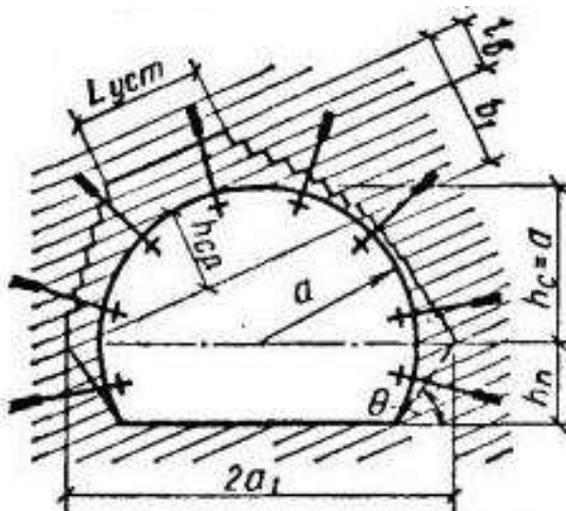


Рисунок 4.62. Принципиальная схема работы анкерной крепи

В общем виде анкерная крепь должна препятствовать расслоению приконтурного массива с образованием отдельных вывалов. При наличии мощных (до 1 метра и более) слоев с низкими деформационными характеристиками при работе анкера возможно отслоение слоев соляных пород от более жестких доломитов и ангидритовых пород. При возникновении такого отслоения схема работы анкера меняется: вместо передачи тягового усилия по телу анкера возникает эффект подвешивания к анкеру отслоившихся соляных пород достаточно большой массы. В результате вся нагрузка начинает распределяться на опорные плиты анкеров и системы их крепления к тяговой части. В зависимости от геологических условий и объемов отслоившихся пород вероятны ситуации, связанные с обрушениями в кровле по длине горной выработки, либо локальные вывалы, которые обуславливаются отрывом опорной плиты от тяговой части анкера.

Несущая часть анкера в породах с различными модулями деформаций будет получать отличающееся обжатие и, как следствие, разное сопротивление вытягиванию анкера. В этом случае нагрузка от отслоившихся слоев соляных

пород направлена на выдергивание анкера из более жестких и упругих горных пород.

Для решения указанной проблемы необходима разработка принципиально новых конструкций комбинированной анкерной крепи, которые сочетают в себе свойства самозакрепляющихся и клинораспорных анкеров и учитывают слоистость пород кровли и стенок выработки, угол наклона и мощность соляных включений.

Учет условий слоистого строения кровли выработок при различном сочетании разнопрочных и разномодульных слоев необходим для расчета параметров паспорта крепления горных выработок в ходе геомеханического моделирования состояния массива горных пород в окрестностях подготовительных выработок с определением топологии пласта, наличия флексурных осложнений и структуры в кровле и стенках горных выработок сложно структурного строения массива горных пород

Принцип расчета и обеспечения устойчивости пород основан на уже доказанной теории сводообразования в кровле выработки (рисунок 4.63).

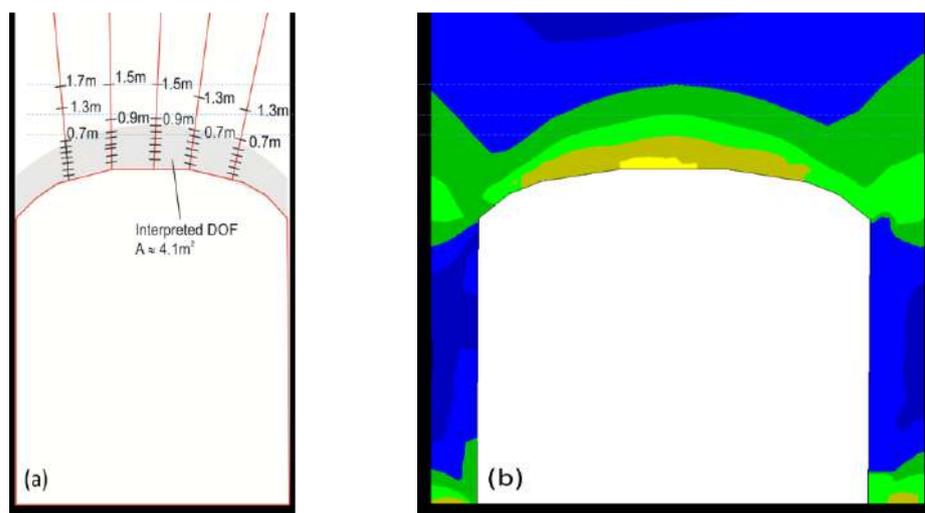


Рисунок 4.63. Схема расположения анкеров в кровле подготовительной выработки (а); с учетом развития деформационных процессов (б)

Данный принцип также может быть положен в основу обоснования закрепления пластов соляных пород. С учетом деформаций (смещений) приконтурной части выработки рекомендуется использовать анкер с комбинированным видом закрепления, позволяющим закрепить породы в

устойчивой зоне и при этом обеспечить нормативные смещения пород в приконтурной части выработки без потери несущей способности опорного узла анкера.

В данных условиях работа анкеров на основе закрепления твердеющими составами и клинораспорных анкеров оказывается малоэффективной, поскольку в результате смещений структурных неоднородностей анкер не работает вследствие потери связи в системе «замок-опорная плита» (рисунок 4.64).

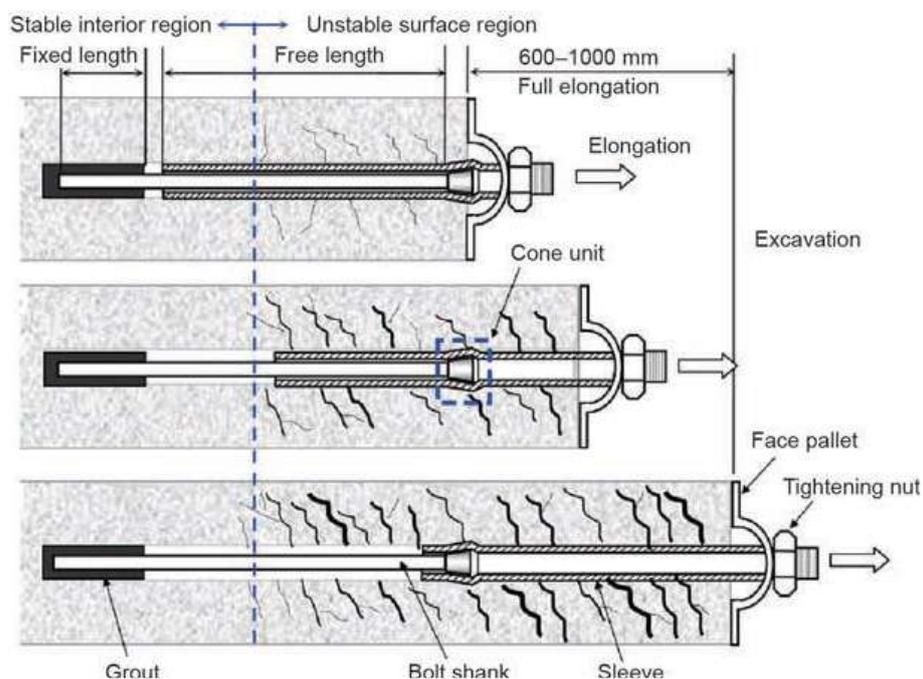


Рисунок 4.64. Схема закрепления анкера в массиве слоистых пород

При разработке соляных месторождений традиционно для крепления подземных горных выработок используются анкера и металлические рамы из профиля СВП.

Наиболее распространенные конструкции замковых металлических анкеров применяют в породах, сопротивление сжатию которых составляет от 40 до 100 МПа. Процесс установки анкеров – механизированный. Для эффективной работы замковых анкеров следует придавать при установке начальное натяжение около 70-80 % от расчетной несущей способности.

В вязких породах средней прочности (типа солей) эффективно использовать металлические беззамковые анкера, имеющие контакт с породой по всей длине

шпура. Это анкеры, закрепляющиеся в шпуре твердеющими смесями на основе полимеров или цементной смеси. Данные анкеры технологичны в изготовлении и установке. Они могут быть успешно применены в выработках со сроком службы, в течение которого сохраняется проектная несущая способность анкеров при влиянии на них факторов коррозии.

Железобетонные анкеры более долговечны, имеют жесткую деформационно-силовую характеристику, хорошо препятствуют (особенно при сплошных конструкциях) расслоению пород и могут применяться для упрочнения кровли, боков и почвы выработок. Недостатком этих анкеров является невозможность восприятия нагрузки сразу после их установки, вследствие чего требуется, в ряде случаев, предварительное применение временной крепи. При использовании в солях существует дополнительная опасность, связанная с минимальным зацеплением цементного камня с поверхностью шпура вследствие низкой адгезии при воздействии воды.

Сталеполимерные анкеры (СПА) закрепляют в скважине быстротвердеющим полимерным бетоном, состоящим из синтетической смолы, отвердителя, катализатора (иногда), мелкого заполнителя (песка или гранулированного шлака). Такие анкеры вступают в работу через короткий срок (5-30 мин) после установки, имеют высокую прочность закрепления и малое смещение под нагрузкой. СПА наиболее эффективны при проведении выработок по нарушенным породам и при других сложных условиях. Недостаток СПА, особенно при сплошных конструкциях, – относительно высокая стоимость активных компонентов и их токсичность, требующая повышенной осторожности в работе.

В настоящее время на многих рудниках, в том числе в условиях Гремячинского месторождения, успешно применяются анкеры на основе фрикционного закрепления. Согласно ГОСТ 31559-2012, нормативная несущая способность данного типа анкеров в породах крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова $f > 4$ должна быть не менее 50 кН. Разрабатываемые сильвиниты имеют прочность $f < 5$, тем самым ограничивая область эффективного использования анкеров с фрикционным закреплением.

Высокая технологичность использования самозакрепляющихся анкеров (СЗА) и условия промышленной безопасности требуют уточнения и определения оптимальных конструкций и параметров крепления выработок анкерами СЗА на основе фрикционного закрепления в условиях ведения горных работ на Гремячинском месторождении.

Новизна испытуемых конструкций заключалась в комбинировании различных способов закрепления анкера в шпуре: создание замковой части на основе механического распора в конической части анкера, формируемого посредством введения дополнительных элементов. Испытывались анкера с распором (рисунки 4.65-4.67):

- металлическим клином;
- с деревянным вкладышем;
- усиленного фрикционного крепления с различной длиной вставки.

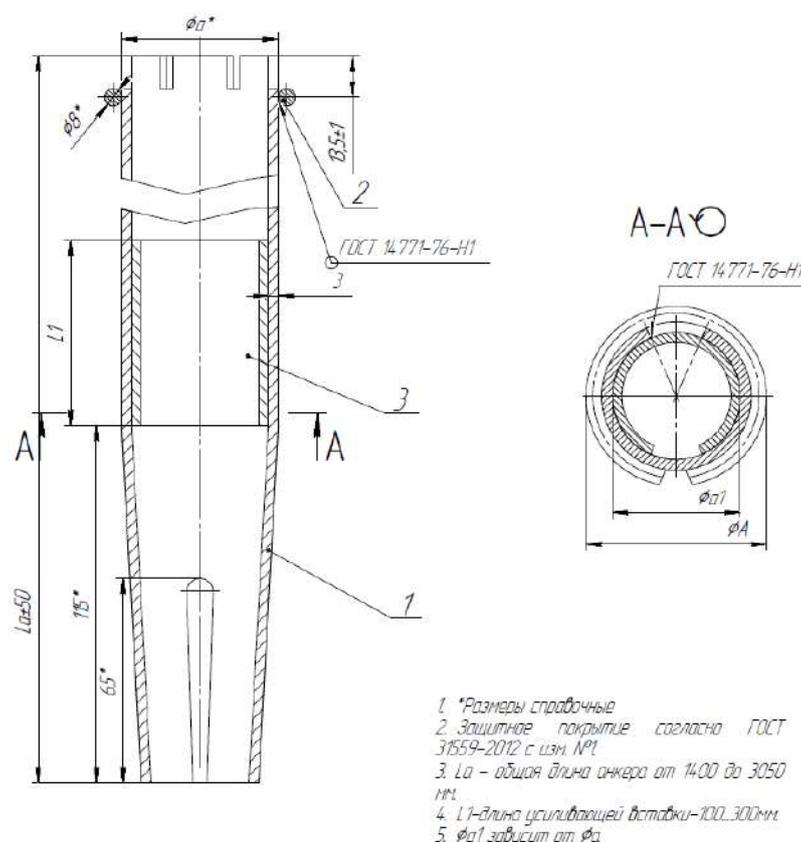


Рисунок 4.65. Схема анкера СЗА с усиленной вставкой (СЗА УФК)

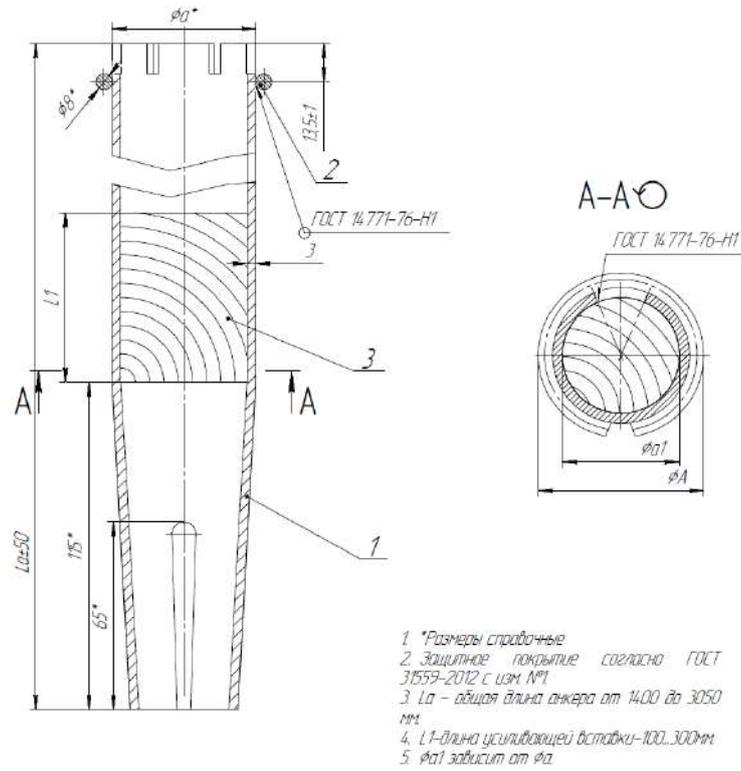


Рисунок 4.66. Схема анкера СЗА с деревянной вставкой

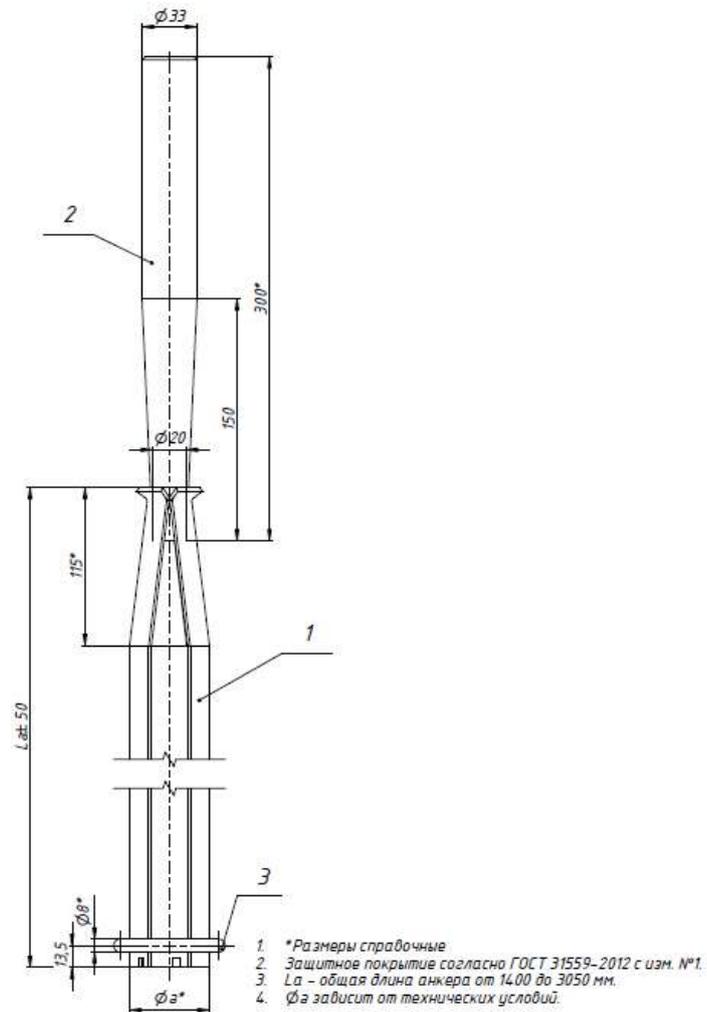
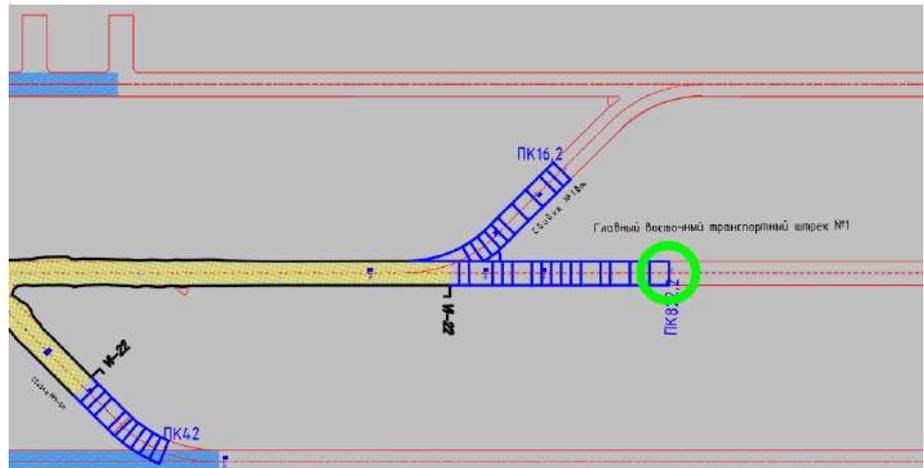


Рисунок 4.67. Схема анкера СЗА с металлическим клином

Технология установки анкеров полностью повторяет известный способ крепления выработок самозакрепляющимися анкерами с помощью самоходных буровых установок.

Анкеры испытывались в условиях Гремячинского подземного рудника при различных режимах бурения: с промывкой шпура и без промывки (рисунок 4.68).

а)



б)

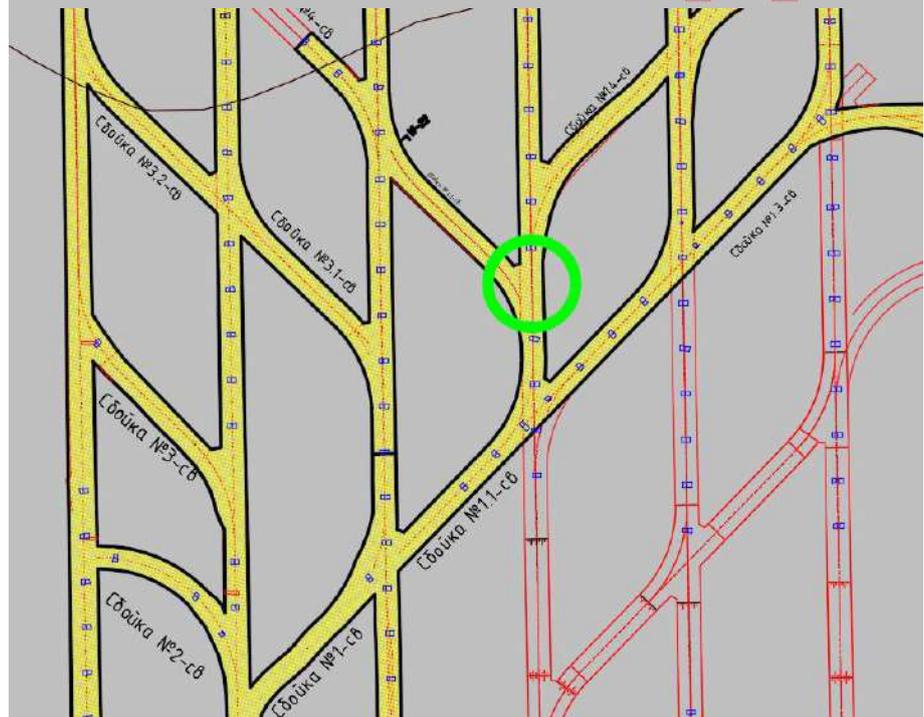


Рисунок 4.68. Места проведения испытаний анкерного крепления: а – в соляных породах; б – в ангидрит-доломитах

Результаты испытаний анкеров комбинированной конструкции приведены в таблицах 4.5, 4.6.

Таблица 4.5. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров комбинированной конструкции закрепления в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в соляных породах

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи.	Типоразмер крепи, ее комплектность	Место установки и геологическая характеристика	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм				Несущая способность, мПа* показ. прибора.	Величина нагрузки, т.
				длина стержня	диаметр стержня	длина усиливающей вставки	размеры опорной плиты/ амокаркаса		
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-УФК	Соляные породы	1856	48	150	200x200 / 950x950	от 30 до 32	6.8-7.2
2		СЗА-УФК		1850	48	250	200x200 / 950x950	от 23 до 38	5.2-8.6
3		СЗА-УФК		1852	48	350	200x200 / 950x950	от 29 до 30	6.5-6.8
4		СЗА с замковой частью из деревянного черняка		1850	48	200	200x200 / 950x950	30	6.8
5		СЗА с металлическим клином 200 мм		1850	48	200	200x200 / 950x950	от 28 до 31	6.3-7.0

Таблица 4.6. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров комбинированной конструкции закрепления в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в доломитовых породах

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи.	Типоразмер крепи, ее комплектность	Место установки и геологическая характеристика	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм				Несущая способность, мПа* показ. прибора.	Величина нагрузки, т.
				длина стержня	диаметр стержня	длина усиливающей вставки	размеры опорной плиты / амокоркаса		
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-УФК	Доломитовые породы	1854	48	150	200x200 / 950x950	32	7.2
2		СЗА-УФК		1852	48	250	200x200 / 950x950	28	6.3
3		СЗА-УФК		1851	48	350	200x200 / 950x950	40	9.0
4		СЗА с замковой частью из деревянного черняка		1854	48	200	200x200 / 950x950	28	6.3
5		СЗА с металлическим клином 200 мм		1851	48	200	200x200 / 950x950	от 10 до 12	2.2-2.7

Анализ результатов испытаний свидетельствует:

- минимально необходимая несущая способность усовершенствованных конструкций комбинированных анкеров обеспечивается как в соляной, так и в доломитовой толще пород;

- технология бурения шпуров в соляной толще не оказывает существенного влияния на несущую способность анкеров усовершенствованной конструкции;

- геометрические параметры шпура и качество его бурения (перебур или недобур) для конструкций с жестким металлическим клином оказывают существенное влияние. Указанное влияние заключается в выпадении клина и полном нарушении конструкции, что приводит к полной потере несущей способности. Данный факт выявлен для доломитовой толщи;

- наиболее стабильные показатели по несущей способности установлены для анкеров с деревянной вставкой в виде бруска.

Определено направление работы по совершенствованию конструкции анкера: защита деревянной вставки от негативного воздействия окружающей среды горной выработки (высокая температура, агрессивная среда и низкая влажность) либо замена указанного элемента конструкции на нечувствительный к вредным факторам материал с аналогичными свойствами и обеспечивающий аналогичную схему работы анкера и полученную несущую способность.

Установлено, что анкеры с деревянной вставкой показали стабильный результат, обеспечивающий несущую способность более 60 кН. Анкеры с измененной конструкцией замка клино-распорного устройства следует доработать с учетом необходимости использования приспособления для установки анкера, обеспечивающего подачу и вращение анкера на заключительной стадии его внедрения в шпур. Анкеры с усиливающей металлической вставкой, независимо от ее длины (150, 250, 350 мм) обеспечили несущую способность 52-86 кН в соляных породах и 63-90 кН в доломитах. Анкеры с металлическим клином выявили непригодность при креплении выработок, пройденных в доломитах, так как

фиксирувалось выпадение клина при установке анкера. Это определило задачу дальнейшего совершенствования конструкции анкера данного типа.

Металлические замковые анкеры способны воспринимать нагрузку сразу после их установки, поэтому их применение эффективно в выработках с быстрым развитием проявлений горного давления. Для обеспечения устойчивости выработок разработаны, изготовлены и испытаны конструкции крепи с комбинированным типом закрепления на основе фрикционных анкеров.

Учитывая механизм, описанный выше, собственно, разработаны конструкции анкеров инновационного характера, при использовании которых система крепи работает с учетом техногенного изменения состояния пород в результате проведения горной выработки, крепления и механизма проявления напряжений и деформаций на поверхности шпура.

При возникновении смещений в результате деформирования горных пород вследствие разгрузки горной выработки фрикционный анкер имеет возможность податливо деформироваться без потери несущей способности, при этом тип закрепления опорной плиты всегда остается в защемленно-неподвижном состоянии. Наличие замковой части обеспечивает увеличение несущей способности фрикционного анкера до значений, свыше 80 кН, что вполне достаточно для обеспечения устойчивого состояния закрепляемых пород. Причем, по мере деформирования пород в результате возникновения дополнительных тангенциальных напряжений в соляных породах, характеризующихся более высоким значением коэффициента Пуассона, в дальнейшем несущая способность установленного анкера такого типа растет.

Результаты испытаний подтвердили ранее высказанную гипотезу о целесообразности применения для обеспечения устойчивости сложноструктурных, разнопрочных и разномодульных пород с включениями слабых прослоев соляных пород комбинированных анкеров с вставками с отличающимися деформационными характеристиками с распором, обеспечивающимся металлическим клином или деревянными вкладками, либо усиленным фрикционным креплением и изменяющейся длиной вставки.

Конструкции инновационных анкеров, испытанных летом 2022 года в условиях Гремячинского подземного рудника, предусматривали включение в тело анкеров различных вставок с иными деформационными характеристиками по сравнению с характеристиками стержня анкера. Результаты испытаний (глава 5 настоящей диссертации) показали преимущество анкеров, в конструкции которых предусмотрены вставки из деревянного бруса и распорных анкеров с металлической вставкой. Оценка несущей способности типов анкеров с деревянной вставкой и металлической в форме эллипсоида вращения непосредственно после их установки определила, что предельные нагрузки на анкер во всех случаях превысили требуемые 50 кН. Наиболее стабильные результаты по оценке несущей способности показали анкера со вставкой из деревянного бруса.

Однако, использование деревянных элементов анкера в условиях агрессивных вод и высоких температур, характерных для подземного рудника Гремячинский, в течение длительного периода эксплуатации анкера может привести к снижению расклинивающего эффекта за счет усыхания и потери структуры дерева, его упругих свойств.

В связи с этим, была выдвинута идея о замене в конструкции фрикционного анкера деревянных вставок на вставки из полимерных материалов или металла эллиптической формы, покрытых защитной пленкой. Испытания в лабораторных условиях подобного типа анкеров подтвердили данное предположение.

Всего для опытно-промышленных испытаний разработано две базовые конструкции анкеров, в основе которых предусмотрена замена деревянной вставки на вставку из устойчивых и не подверженных гниению полимерных материалов со схожими дереву свойствами. Также разработана конструкция анкера типа СЗА, но базирующаяся на новых принципах расклинивания за счет вставки строжневого элемента в тело анкера и обеспечения дополнительной связи опорной пластины с расклинивающимся элементом. Этот тип конструкции представлен несколькими вариантами и предполагает замену деревянной вставки металлическими втулками эллиптического сечения, защищенными полимерными покрытиями от коррозии, с различными геометрическими размерами втулки.

При модернизации конструкции крепи были приняты базовые положения:

- анкер должен иметь «якорь» в зоне относительно устойчивых пород;
- анкер должен обеспечивать закрепление по всей длине, при этом не терять сцепление с массивом в результате деформаций;
- должна обеспечиваться связь между опорной плитой и стержнем анкера при передаче нагрузок.

4.5. Методика расчета параметров закрепления выработок

Учитывая результаты опытно-промышленных испытаний, а также проведенную оценку грузонесущих характеристик элементов крепи и узлов на основе использования анкера СЗА, для крепления пород различной категории устойчивости на всех месторождениях, где проведены соответствующие опытно-промышленные испытания, обоснование параметров крепления осуществлено по следующей методике:

- 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) и оценка условий динамического влияния;
- 5) определение фактической несущей способности стержня анкера;
- 6) корректировка параметров крепи (диаметр, длина, материал стержня, АКП, шаг установки крепи, порядок возведения).

Для крепления выработок рассмотрены следующие конструкции крепи:

1. Анкерная крепь СЗА.

2. Анкерная крепь СЗА + торкретбетон.
3. Анкерная крепь СЗА усиленная армокаркасом (СЗА-Армокрепь) с набрызгбетоном.
4. Комбинированная крепь набрызгбетон – СЗА-Армокрепь – УКК – набрызгбетон.

Для определения параметров крепи проведены расчеты для III, IV, V категорий устойчивости горного массива.

Основными параметрами анкерной крепи являются: длина анкеров, расстояние между ними (плотность расстановки) или сетка штангования, расчетное сопротивление стержня на разрыв, несущая способность замка, замковой части или всего тела анкера. Указанные параметры определяются применительно к двум основным расчетным схемам [109].

Расчетная схема I – анкера прикрепляют породу, расположенную в пределах зоны возможного обрушения, к устойчивой зоне породного массива и рассчитываются на восприятие нагрузок, вызванных весом пород в пределах зоны возможного обрушения в кровле и боках. Замковые части анкеров заглубляются в устойчивую зону массива на 0,3-0,5 м (рисунок 4.69).

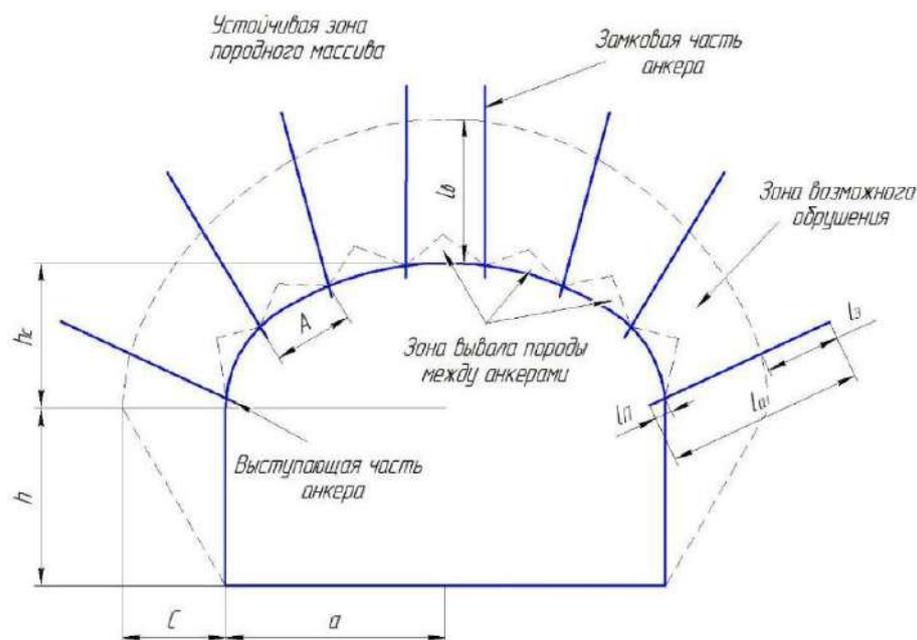


Рисунок 4.69. Расчетная схема I

Расчет параметров анкерного крепления по I схеме осуществляется в следующей последовательности:

- 1) Рассчитывается ширина призмы сползания C :

$$C = (h + h_c) \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi_p}{2}\right), \quad (4.1)$$

где $h + h_c$ – высота выработки; φ_p – расчетный угол внутреннего трения горных пород ($\varphi_p = \operatorname{arctg}(0,1 \cdot R \cdot k_C)$, град.; R – предел прочности пород на одноосное сжатие, Мпа; k_C – коэффициент структурного ослабления).

- 2) Определяется высота свода естественного равновесия l_B :

$$l_B = \frac{a + C}{f \cdot k_C}, \quad (4.2)$$

где a – полупролет выработки в проходке, м; f – коэффициент крепости по шкале профессора М.М. Протодьяконова.

- 3) Определяется вертикальная распределенная нагрузка q :

$$q = \gamma \cdot l_B, \text{ кПа} \quad (4.3)$$

где γ – объемный вес пород, кН/м³.

- 4) Рассчитывается плотность установки анкеров $S_{ан}$:

$$S_{ан} = \frac{q \cdot K_3}{q_{анк}}, \text{ шт./м}^2, \quad (4.4)$$

где K_3 – коэффициент запаса (принимается 2); $q_{анк}$ – несущая способность анкера, кН.

- 5) Определяется расстояние между анкерами A :

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{ан}}}, \text{ м} \quad (4.5)$$

- 6) Определяется длина анкеров l_a :

$$l_a = l_B + l_3 + l_{п} \quad (4.6)$$

где l_3 – величина заглубления анкера в устойчивую зону массива пород (принимается равной 0,3-0,5 м); $l_{п}$ – длина выступающей из скважины части штанги, зависящая от ее конструкции и толщины опорно-поддерживающих элементов (0,05-0,2 м).

Расчетная схема II – анкеры скрепляют различно деформируемые участки, слои или структурные элементы породного массива вокруг выработки, формируя упрочненную зону в виде плиты, свода, арки или кольца, способную воспринять горное давление (рисунок 4.70).

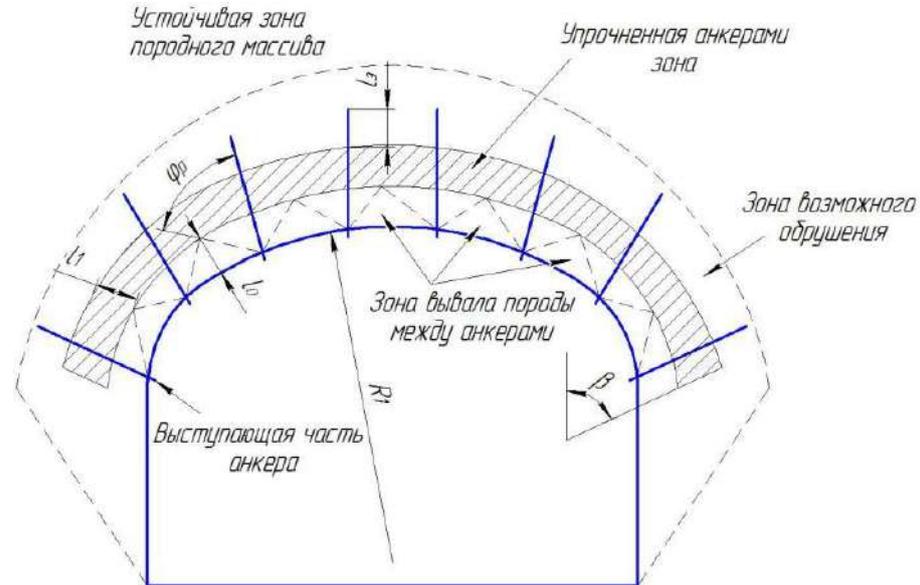


Рисунок 4.70. Расчетная схема II

Длина анкера при второй расчетной схеме, когда глубина зоны возможного обрушения существенно превышает приемлемую длину анкеров, определяется по формуле:

$$l_a = l_0 + l_1 + l_3 + l_{II}, \text{ м} \quad (4.7)$$

где l_0 – глубина нарушенной зоны, примыкающей к контуру выработки и являющейся нерабочей вследствие повышенной трещиноватости и возможности образования вывалов в промежутках между штангами, м; l_1 – расчетная толщина упрочненной несущей зоны, сформированной анкерами, м.

Считая, что зона влияния каждого анкера в массиве пород у контура выработки ограничена поверхностью конуса с углом φ_p относительно оси анкера, получаем:

$$l_0 = 0,5 \cdot A \cdot \text{ctg} \varphi_p. \quad (4.8)$$

Расчетная толщина упрочненной несущей зоны, с учетом образования в ней при помощи анкеров распорной системы типа трехшарнирного свода при сводчатой кровле, составит:

$$l_1 = 10x \frac{4*(R_1+l_0)*A'}{3*(1-\cos\beta)-A'} \quad (4.9)$$

где

$$A' = \frac{P*n_{\Pi}}{R_{cy}-\sigma_x} * \sin^2\beta, \quad (4.10)$$

В формулах (4.9), (4.10) обозначены: R_1 – радиус свода выработки, м; P – интенсивность вертикальной нагрузки на несущую зону, кПа; n_{Π} – коэффициент перегрузки (принимается равным 3-4); R_{cy} – расчетное сопротивление породы на сжатие с учетом структурной ослабленности k_c и упрочнения анкерами k_y , определяется из выражения: $R_{cy}=R*k_c*k_y$. Величину k_y следует принимать по рекомендациям специализированных организаций (в расчетах 1,3-1,5); σ_x – горизонтальные напряжения пород в массиве, определяется по формуле $\sigma_x=\lambda\gamma H$ ($\lambda=0,3-0,4$ – коэффициент бокового распора); β – угол наклона к вертикали пяты сформированного анкерами свода.

Расстояние между анкерами следует принимать с учетом двух факторов:

1) смыкание зон влияния анкеров на расстоянии от контура выработки $l_0=0,5-0,7$ м, т. е.

$$A \leq 2 * l_0 * \operatorname{tg} \varphi_p, \text{ м} \quad (4.11)$$

2) восприятие собственного веса пород в пределах активной длины анкера.

После расчета длины анкера и расстояния между анкерами проводится определение требуемой несущей способности анкера:

$$q_{\text{анк}} = \gamma * A^2 * (1+0,5*A) * n_{\Pi}. \quad (4.12)$$

Если несущая способность по формуле (4.12) выше несущей способности, полученной опытным путем, расчетом для каждого типа анкера или принятой по соответствующим нормативным документам, то необходимо уменьшить расстояние между анкерами с шагом 0,1 м и повторить расчет.

Толщину набрызгбетона при комбинированной крепи можно определить по формуле:

$$\delta = 0,35 \left(\frac{P_H}{m_6 [\sigma_p]} \right)^{1/2}. \quad (4.13)$$

где m_6 – коэффициент условий работы крепи, равен 0,85; σ_p – предел прочности бетона на осевое растяжение (при марке бетона М400 равен 1,2 МПа).

Пример расчета параметров анкерного крепления в породах II категории устойчивости

Исходные данные:

- 1) высота выработки – 4,4 м;
- 2) ширина выработки – 4 м;
- 3) полупролет выработки – 2 м;
- 4) высота сводчатой части выработки – 1,333 м;
- 5) высота боков выработки – 2,967 м;
- 6) объемный вес пород – 0,028 МН/м³;
- 7) угол внутреннего трения – 40 градусов;
- 8) коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протоdjяконова – 8-10;
- 9) коэффициент структурного ослабления – 0,4;
- 10) кажущийся угол внутреннего трения – 65 градусов.

Ширина призмы сползания:

$$C = (h + h_c) \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_0}{2} \right) = (1,33 + 2,967) \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{65}{2} \right) = 1,152 \text{ м}.$$

Высота свода естественного равновесия:

$$L_B = \frac{B + C}{f \cdot k_c} = \frac{2 + 1,152}{8 \cdot 0,4} = 0,985 \text{ м}.$$

Расчетная вертикальная распределенная нагрузка:

$$q = \gamma \cdot L_B = 0,028 \cdot 0,985 \cdot 1000 = 27,58 \text{ кПа}.$$

По результатам ОПИ принимается минимальная несущая способность анкеров $q_{\text{анк}} = 7 \text{ т}$ (70кН). В расчет закладывается коэффициент запаса $K_3=2$.

Плотность установки анкеров в кровле:

$$S_{ан} = \frac{q \cdot K_3}{q_{анк}} = \frac{27,58 \cdot 2}{70} = 0,788 \text{ шт./ м}^2.$$

Расстояние между анкерами:

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{ан}}} = \sqrt{\frac{1}{0,788}} = 1,1 \text{ м.}$$

Так как заглубление анкера за свод обрушения должно составлять 0,3-0,5 м, а выступающая часть анкера – 0,1 м, то длина анкера должна быть не менее 1,5 м.

Необходимая толщина набрызгбетонной крепи для крепления пород III категории устойчивости составит:

$$\delta = 0,35 \left(\frac{27,58 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 1,2} \right)^{1/2} = 0,03 \text{ м.}$$

Пример расчета параметров анкерного крепления в породах III категории устойчивости

Исходные данные:

- 1) высота выработки – 4,4 м;
- 2) ширина выработки – 4 м;
- 3) полупролет выработки – 2 м;
- 4) высота сводчатой части выработки – 1,333 м;
- 5) высота боков выработки – 2,967 м;
- 6) объемный вес пород – 0,028 МН/м³;
- 7) угол внутреннего трения – 40 градусов;
- 8) коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протоdjяконова – 6-8;
- 9) коэффициент структурного ослабления – 0,4;
- 10) кажущийся угол внутреннего трения – 65 градусов.

Ширина призмы сползания:

$$C = (h + h_c) \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_6}{2} \right) = (1,33 + 2,967) \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{65}{2} \right) = 1,152 \text{ м.}$$

Высота свода естественного равновесия:

$$L_B = \frac{B + C}{f \cdot k_C} = \frac{2 + 1,152}{6 \cdot 0,4} = 1,31 \text{ м.}$$

Расчетная вертикальная распределенная нагрузка:

$$q = \gamma \cdot L_B = 0,028 \cdot 1,31 \cdot 1000 = 36,78 \text{ кПа} .$$

По результатам ОПИ принимается минимальная несущая способность анкеров $q_{\text{анк}} = 7 \text{ т}$ (70кН). В расчет закладывается коэффициент запаса $K_3=2$.

Плотность установки анкеров в кровле:

$$S_{\text{ан}} = \frac{q \cdot K_3}{q_{\text{анк}}} = \frac{36,78 \cdot 2}{70} = 1,1 \text{ шт./ м}^2.$$

Расстояние между анкерами:

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{ан}}}} = \sqrt{\frac{1}{1,1}} = 0,9 \text{ м} .$$

Так как заглубление анкера за свод обрушения должно составлять 0,3-0,5 м, выступающая часть анкера – 0,1 м, то длина анкера должна быть не менее 1,7-1,9 м.

Необходимая толщина набрызгбетонной крепи для крепления пород III категории устойчивости составит:

$$\delta = 0,35 \left(\frac{36,78 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 1,2} \right)^{1/2} = 0,07 \text{ м} .$$

Пример расчет параметров анкерного крепления в породах IV категории устойчивости

Исходные данные:

- 1) высота выработки – 4,4 м;
- 2) ширина выработки – 4 м;
- 3) полупролет выработки – 2 м;
- 4) высота сводчатой части выработки – 1,333 м;
- 5) высота боков выработки – 2,967 м;
- 6) объемный вес пород– 0,028 МН/м³;
- 7) угол внутреннего трения – 40 градусов;
- 8) коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодяконова –8;
- 9) коэффициент структурного ослабления – 0,2;
- 10) кажущийся угол внутреннего трения – 60 градусов.

Ширина призмы сползания:

$$C = (h + h_c) \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi_0}{2}\right) = (1,33 + 2,967) \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{60}{2}\right) = 1,152 \text{ м}.$$

Высота свода естественного равновесия:

$$L_B = \frac{B + C}{f \cdot k_c} = \frac{2 + 1,152}{8 \cdot 0,2} = 1,97 \text{ м}.$$

Расчетная вертикальная распределенная нагрузка:

$$q = \gamma \cdot L_B = 0,028 \cdot 1,97 \cdot 1000 = 55,16 \text{ кПа}.$$

По результатам ОПИ принимается минимальная несущая способность анкеров $q_{\text{анк}} = 7 \text{ т}$ (70кН). В расчет закладывается коэффициент запаса $K_3=2$.

Плотность установки анкеров в кровле:

$$S_{\text{ан}} = \frac{q \cdot K_3}{q_{\text{анк}}} = \frac{55,16 \cdot 2}{70} = 1,58 \text{ шт./ м}^2.$$

Расстояние между анкерами:

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{ан}}}} = \sqrt{\frac{1}{1,58}} = 0,8 \text{ м}.$$

Так как заглубление анкера за свод обрушения должно составлять 0,3-0,5 м, выступающая часть анкера – 0,1 м, то длина анкера должна быть не менее 2,4-2,6 м.

Необходимая толщина набрызгбетонной крепи для крепления пород IV категории устойчивости составит:

$$\delta = 0,35 \left(\frac{55,6 \cdot 1,2}{0,85 \cdot 1,2} \right)^{1/2} = 0,09 \text{ м}.$$

Пример расчета параметров анкерного крепления в породах V категории устойчивости

Исходные данные:

- 1) высота выработки – 4,4 м;
- 2) ширина выработки – 4 м;
- 3) полупролет выработки - 2 м;
- 4) высота сводчатой части выработки – 1,333 м;
- 5) высота боков выработки – 2,967 м;
- 6) объемный вес пород– 0,028 МН/м³;
- 7) угол внутреннего трения – 40 градусов;

8) коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодяконова – 6;

9) коэффициент структурного ослабления – 0,2;

10) кажущийся угол внутреннего трения – 60 градусов.

Ширина призмы сползания:

$$C = (h + h_c) \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi_0}{2}\right) = (1,33 + 2,967) \cdot \operatorname{tg}\left(45 - \frac{60}{2}\right) = 1,152 \text{ м}.$$

Высота свода естественного равновесия:

$$L_B = \frac{B + C}{f \cdot k_c} = \frac{2 + 1,152}{6 \cdot 0,2} = 2,6 \text{ м}.$$

Расчетная вертикальная распределенная нагрузка:

$$q = \gamma \cdot L_B = 0,028 \cdot 2,6 \cdot 1000 = 73,55 \text{ кПа}.$$

По результатам ОПИ принимается минимальная несущая способность анкеров $q_{\text{анк}} = 7 \text{ т}$ (70кН). В расчет закладывается коэффициент запаса $K_3=2$.

Плотность установки анкеров в кровле:

$$S_{\text{ан}} = \frac{q \cdot K_3}{q_{\text{анк}}} = \frac{73,55 \cdot 2}{70} = 2,1 \text{ шт./ м}^2.$$

Расстояние между анкерами:

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{ан}}}} = \sqrt{\frac{1}{0,76}} = 0,7 \text{ м}.$$

Так как заглубление анкера за свод обрушения должно составлять 0,3-0,5 м, выступающая часть анкера – 0,1 м, то длина анкера должна быть не менее 3,0-3,2 м.

Так как ширина выработки составляет 4 м, то установить анкеры длиной 3-3,2 м в V категории не представляется возможным, поэтому необходимо произвести расчет параметров анкерной крепи по схеме №2.

Данный расчет сводится к подбору необходимой несущей способности штанги в зависимости от расстояния между анкерами, коэффициента запаса устойчивости и ширины несущей (упрочняемой) плиты. Коэффициент запаса в данных условиях равен 3.

Расчетную толщину упрочненной несущей зоны, с учетом образования в ней при помощи анкеров распорной системы типа трехшарнирного свода при сводчатой кровле составит:

$$l_1 = 10x \frac{4x(2,7 + 0,35)x0,014}{3x(1 - \cos 30) - 0,014} = 1,12 \text{ м.}$$

$$A' = \frac{73,55 * 3}{100 * 1,3 * 0,2 * 1000 - 0,3 * 2,7 * 400 * 100} * \sin^2 30 = 0,0142.$$

Необходимая несущая способность анкера длиной 2,5 м при установке через 0,7 м и создании плиты, шириной 1,12 м должна составлять:

$$q_{\text{анк}} = \gamma \cdot 100 \cdot A^2 \cdot (L_B + 0,5 \cdot A) \cdot K_3 = 0,028 \cdot 100 \cdot 0,7^2 \cdot (1,12 + 0,5 \cdot 0,7) \cdot 3 = 6 \text{ т} \quad - \text{ условие}$$

выполняется.

Таким образом, в V категории горного массива возможно устанавливать анкеры длиной 2,5 м с сеткой штангования 0,7 м.

Необходимая толщина набрызгбетонной крепи для крепления пород V категории устойчивости составит:

$$\delta = 0,35 \left(\frac{73,5 * 1,2}{0,85 * 1,2} \right)^{1/2} = 0,1 \text{ м.}$$

При установке в данной категории усиленной комбинированной крепи, состоящей из анкеров, армокаркаса и металлической сетки, необходимо произвести полное замоноличивание слоем торкретбетона, поэтому толщину наносимого слоя бетона следует увеличить до 150 мм.

Согласно проведенным расчетам, определены параметры крепи для пород II-V категории. Результаты расчета представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Расчетные параметры комбинированной крепи для различных категорий устойчивости

Категория пород	Плотность установки анкеров, шт/м ²	Расстояние между анкерами, м	Толщина торкретбетонной крепи не менее, м
II	0,788	1 - 1,1	0,03
III	1,1	0,9	0,07
IV	1,58	0,8	0,09
V	2,1	0,7	0,1 - 0,15

На основании проведенных расчетов по каждому руднику, с учетом результатов опытно-промышленных испытаний, а также согласно принятой классификации пород по устойчивости в действующих Технологических регламентах (инструкциях) по креплению, для рассмотренных конструкций крепи на основе СЗА даны рекомендации по конструкции и параметрам установки крепи.

Кроме того, дополнительно проведены исследования состояния массива в контурах закрепленной выработки с применением различных типов анкерной крепи – СЗА и ЖБШ.

Ультразвуковые измерения проводились с целью определения нарушенной зоны вокруг выработки. Метод ультразвукового каротажа (УЗК) позволяет характеризовать состояние приконтурного массива выработки, при этом выходной информацией являются значения скоростей прохождения звукового импульса, которые хорошо поддаются визуализации.

Измерения проводились в двух выработках – орт 17+16 горизонт -290 м и полевой штрек на горизонте -380 м. Данные выработки выбраны как наиболее показательные. Орт 17+16 имел разрушения по контуру, и в массиве наблюдалась значительная трещиноватость. Необходимо отметить, что на участке, где проводились измерения, установлены железобетонные штанги и самозакрепляющиеся анкера. В выработке созданы 3 измерительные станции: одна в районе установки ж/б штанг, другие две в районе установки самозакрепляющихся анкеров. Измерительная станция представляет собой веер скважин диаметром 50 мм и длиной около 2 м. Схема измерительной станции представлена на рисунке 4.71.

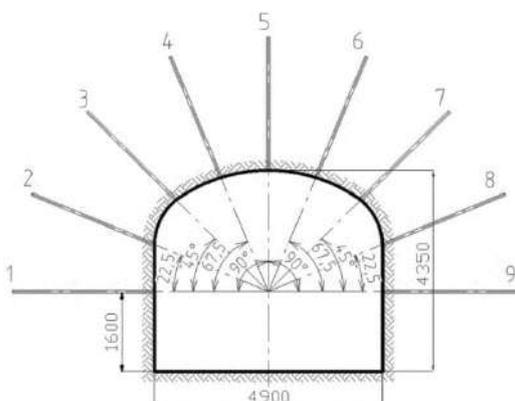


Рисунок 4.71. Схема станции для ультразвуковых измерений

Участок полевого штрека, на котором проводились измерения, характеризовался как устойчивый, без видимых разрушений на контуре. На участке также создано 3 измерительных станции.

На рисунках 4.72-4.74 представлены результаты измерений в орте 17+16 в виде изолиний скоростей прохождения звукового импульса. На рисунке 4.72 показан участок приконтурного массива с установленными ж/б штангами, а на рисунках 4.73 и 4.74 – с самозакрепляющимися анкерами. Синими пунктирными линиями обозначены скважины, в которых проводились измерения. Предполагалось, что участок массива, в котором скорость ниже 5,0 км/с, относится к нарушенным породам.

Области низких скоростей с предполагаемой нарушенной зоной на рисунках показаны синим цветом, области высоких скоростей – красным.

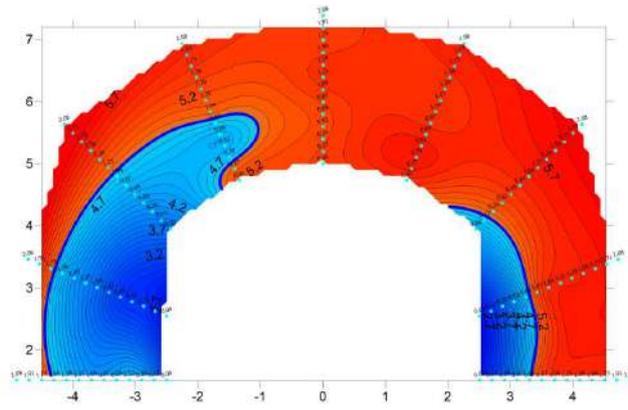


Рисунок 4.72. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции № 1 (установлены ж/б штанги)

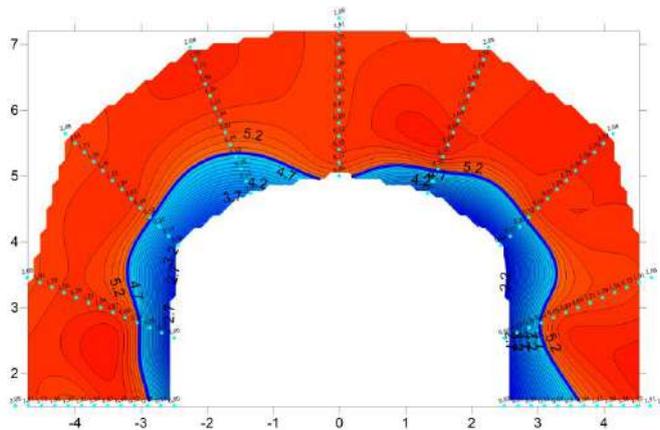


Рисунок 4.73. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции № 2 (установлены самозакрепляющиеся анкера)

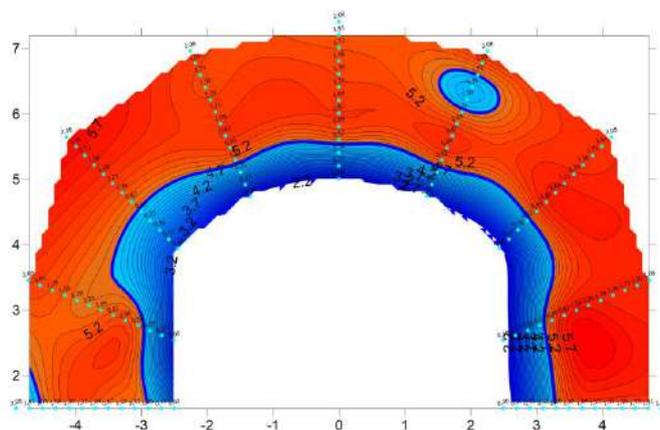


Рисунок 4.74. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции № 3 (установлены самозакрепляющиеся анкера)

Результаты измерений показали, что наиболее нарушенный массив находится в боках (стенках) выработки. При этом максимальный размер нарушенной зоны наблюдается при креплении выработки ж/б штангами и достигает в отдельной скважине 1,7 м. При наличии самозакрепляющихся анкеров максимальный размер нарушенной зоны составляет 0,9 м. В среднем величина нарушенной зоны составляет 0,5-0,7 м, что подтверждает результаты моделирования НДС приконтурного массива выработок (глава 3 настоящей диссертации).

На рисунке 4.74 на значительном расстоянии от контура в боку и в кровле выработки можно наблюдать области с низкими значениями скоростей. Данное явление можно объяснить наличием локальных зон трещиноватости, не связанных с нарушенными зонами, либо с геологическими особенностями массива.

На рисунках 4.75-4.77 представлены результаты измерений в полевом штреке горизонта -380 м.

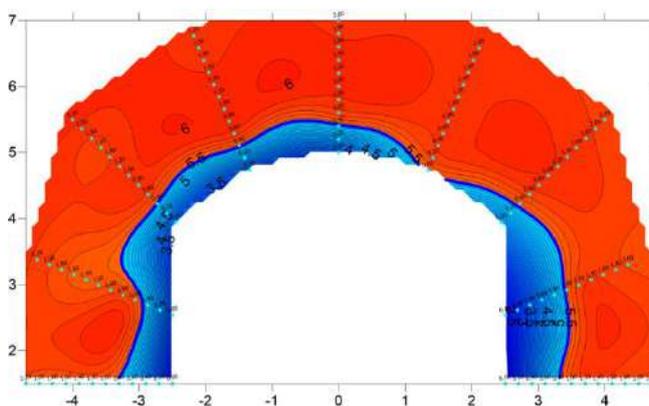


Рисунок 4.75. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции № 4

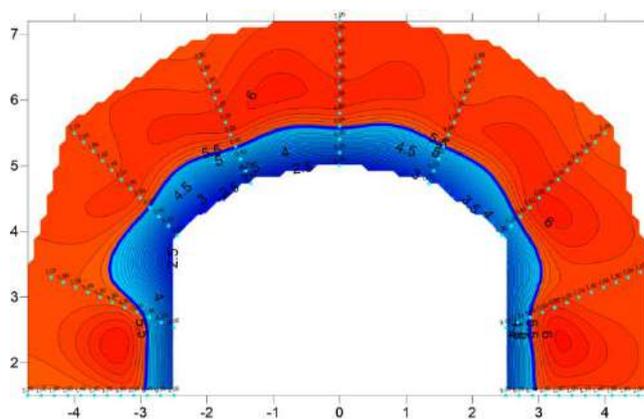


Рисунок 4.76. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции № 5

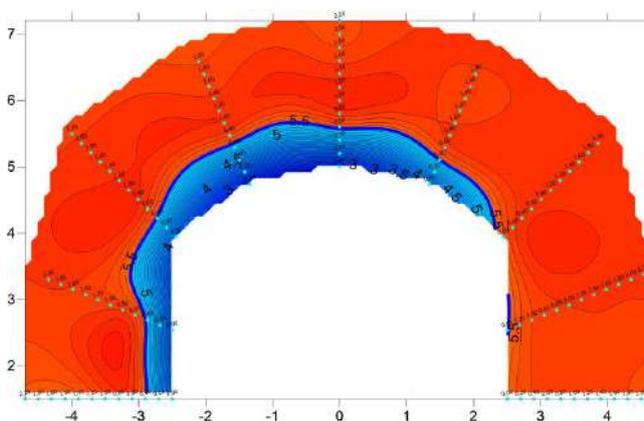


Рисунок 4.77. Скоростные модели приконтурного массива на измерительной станции №6

Полевой штрек пройден в породах, отличных от пород рудного тела, и измеренные в нем скорости звуковой волны выше, чем на станциях 1, 2 и 3. Нарушенная зона соответствовала областям массива, в которых скорость составляла менее 5,5 км/с.

Из анализа рисунков 4.75–4.77 следует, что приконтурный массив полевого штрека нарушен в меньшей степени, чем в орте 17+16, при этом размеры нарушенной зоны колеблются от 0,3 до 0,6 м, достигая в отдельной скважине максимального значения 0,9 м.

В целом, можно отметить, что полевой штрек находится в более устойчивом состоянии, чем орт 17+16. Данный факт можно объяснить влиянием очистного пространства, которое располагается недалеко от орта, в то время как штрек находится вне зоны влияния горных работ. Кроме этого, полученные данные свидетельствуют об устойчивом состоянии участка выработки с установленными

самозакрепляющимися анкерами, чем участка с ж/б штангами без учета временного фактора после установки крепи и первоначального состояния массива.

Для выявления возможной динамики скоростной картины приконтурного массива и получения более объективной информации по параметрам нарушенной зоны необходимо провести повторные измерения на станциях 1-6, а также продолжить серию измерений в устойчивых и неустойчивых выработках.

Выводы по главе 4

1. Определена специфика горно-геологических и гидрогеологических условий удароопасных и сложно-структурных месторождений, которая проявляется в высоких напряжениях на контурах выработок из-за большой глубины залегания, способности пород изменять характеристики прочности, ярко выраженной складчатости, его волнообразном и куполообразном строении, флексурных осложнениях, наличии сводовых поднятий в центральной части шахтного поля, что свидетельствует о неравномерном распределении значений горизонтальных напряжений в массиве пород. Осложняющими факторами являются гидрогеологические условия, определяемые наличием водообильных горизонтов, обводненных песчаных разностей в строении вышележащей толщи.

2. Установлены условия и варианты слоистого строения кровли выработок при различном сочетании разнопрочных и разномодульных слоев, которые будут учтены на последующих этапах проведения исследований при обосновании параметров анкеров, сетки и паспортов крепления горных выработок.

3. Проанализированы особенности горнотехнических условий подземной разработки сильвинитового пласта на больших глубинах при сложноструктурной и неоднородной кровле с учетом специфики логистической схемы рудника.

4. Преимуществами применения анкеров фрикционного типа являются: набор несущей способности сразу после установки; закрепление по всей длине шпура; возможность установки как с использованием буровой установки, так и при помощи ручных перфораторов.

5. В качестве основных факторов, оказывающих непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики анкеров, выделены: горно-геологические условия закрепляемых пород, глубина заложения анкера, диаметр шпура в соотношении с диаметром стержня и способом установки, материал стержня и цементирующей смеси.

6. Требования к возведению традиционной анкерной крепи СЗА и КРА и инновационной крепи в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, определяющих длительное безопасное поддержание выработок, закрепленных анкерной крепью, зависят, прежде всего, от своевременного контроля значений смещений пород с развитым расслоением и трещиноватостью приконтурных слоев кровли, а также проявлениями деформаций пород в боках выработок. Важнейшей проблемой является оценка особенностей горно-геологического состава и строения массива горных пород, влияния техногенного воздействия на рудопородный массив и элементы крепления, предотвращение затопления горных выработок, критическое воздействие сейсмических и ударных воздушных волн от массовых промышленных и взрывов.

7. Выбор вида, конструкции и параметров анкерного крепления, обеспечивающих устойчивость глубокозалегающих подземных горных выработок в сложноструктурном, разнопрочном, разномодульном массиве слоистых вмещающих горных пород при сложной морфологии и флексурных нарушениях пласта сильвинита калийного месторождения, должен производиться дифференцированно в зависимости от геологического строения массива за контуром выработки, определяющего специфику нагружения элементов всех комплектующих по длине анкера.

8. Параметры паспорта крепления при возведении крепи фрикционного типа в сложноструктурном, разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих выработку горных пород должны учитываться с учетом топологии разрабатываемого пласта, его флексурных нарушений, условий залегания и включения соляных пород в достаточно прочные ангидриты и ангидрит-доломитовые породы, особенностей нагружения элементов анкерной крепи по ее

длине в совместно нагружаемой и деформируемой системе «анкер-сложноструктурный вмещающий массив».

9. В работе предложена и экспериментально подтверждена схема взаимодействия усиленного фрикционного анкера и стенок шпура. Установлено, что при изготовлении армокаркаса обязательно выполнение сварки во всех точках пересечения стержней, существенное повышение несущей способности анкера обеспечивается за счет установки в передней части вставки из материала с модулем упругости меньше стали. Аналитическая модель расчета несущей способности анкера, полученная на основании инженерного подхода, позволяет оценивать влияние каждого из параметров конструкции усиленного фрикционного анкера на его несущую способность.

ГЛАВА 5. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

5.1. Промышленные испытания на «Артемьевской шахте» ТОО «Востокцветмет» (РК)

Опытно-промышленные испытания (ОПИ) усиленной комбинированной крепи проводились во вновь проходимых выработках в характерных для Артемьевского месторождения горно-геологических условиях: породы и руды средней и слабой категории устойчивости, сильной и весьма сильной нарушенности, в зоне или вне зоны влияния очистных работ.

На первоначальном этапе перед установкой анкеров СЗА произведена оценка возможности имеющегося на Артемьевской шахте оборудования и технологического процесса производства горнопроходческих работ полноценно применять испытываемую технологию комбинированного крепления на основе анкеров СЗА, армокаркасов и набрызгбетона. Проведенная оценка показала, что на предприятии на проходке горных выработок используются бурильные установки типа Boomer, с коронками 36 и 45 мм. Под данный диаметр коронок, а, соответственно, и шпуров, на шахту Артемьевская поставлены анкеры СЗА, диаметром 39 и 48 мм.

Перед проведением ОПИ произведена предварительная оценка несущей способности анкеров СЗА.

Испытания проведены на участке выработки ДОК 10 отм. 66 гор. 4 блок 5бис, пройденной в породах III и IV категории устойчивости. Для установки крепи пробурены шпуры, диаметром 45 и 36 мм, соответственно, под анкеры СЗА диаметром 48 и 39 мм с помощью самоходной буровой установки (СБУ) типа «Бумер». Произведена подготовка бурового оборудования для возведения крепи СЗА: на стреле СБУ произведен демонтаж вкладышей центрального и переднего люнета стрелы податчика, установлен укороченный бур с пуансоном для подачи анкеров в шпур.

Анкеры СЗА с опорной плитой путем подачи гидроперфоратором устанавливались в забуренные шпуры в бортах выработки с помощью специального пуансона, обеспечивающего формирование опорного узла анкера и работу перфоратора в штатном ударно-вращательном режиме. Всего установлено 5 комплектов СЗА диаметром 48 мм и 3 комплекта СЗА диаметром 39 мм, длиной 2050 мм.

Испытания на несущую способность установленных анкеров проводились с использованием штанговывергивателя ПКА-3 по схеме согласно программе-методике ОПИ.

В результате испытаний зафиксирована несущая способность 98-100 кН (9,8-10 т). Согласно паспорту на самозакрепляющуюся анкерную крепь минимальная несущая способность крепи должна составлять 50 кН. Таким образом, анкерная крепь СЗА отвечает заявленной несущей способности.

В процессе установки крепи зафиксировано: чистое время установки одного анкера составляет не более 1 минуты, а с учетом подготовительных операций – 2-3 мин. Для возведения крепи достаточно двух рабочих – оператор и помощник.

На основании полученных данных произведен расчет параметров закрепления выработок и разработаны типовые паспорта крепления (промежуточный отчет по выполнению этапа № 1, приложение №2 ППР), утвержден проект производства работ по креплению горных выработок усиленной комбинированной крепью на основе самозакрепляющейся анкерной крепи типа СЗА и набрызгбетона в условиях Артемьевского рудника.

С 16.01.2017 начаты работы по креплению опытного участка выработки ДШ-6 гор. 13 в соответствии с утвержденным проектом производства работ (ППР) (рисунки 5.1-5.5).



Рисунок 5.1. Процесс бурения шпуров под анкеры в забое опытного участка выработки ДШ-6



Рисунок 5.2. Стрела буровой кареты с демонтированными вкладышами люнет и установленным пуансоном (слева) и процесс установки СЗА-Армокреп в сборе (справа)



Рисунок 5.3. Установка для нанесения набрызгбетона Aliva-257 и подготовленная сухая смесь MasterRoc STS 1510 в забое опытного участка



Рисунок 5.4. Фрагмент кровли выработки ДШ-6, закрепленный СЗА-Армокрепь



Рисунок 5.5. Участок кровли опытного участка ДШ-6 после производства взрывных работ (незакрепленная часть и закрепленная усиленной комбинированной крепью с торкретбетонным слоем)

Возведение крепи осуществлялось в соответствии с ППР. Расстояние между анкерами в ряду и рядами составило 0,8 м. Толщина торкретбетонного слоя – 150-200 мм.

Время на выполнение операций по креплению составило:

- бурение шпура, глубиной 2,3 м – до 1 мин;
- демонтаж вкладыша люнет и установка буровой штанги с пуансоном – до 5 мин;
- установка СЗА-Армокрепь в сборе на стреле податчика – 0,5 мин;
- центрирование анкера с осью шпура – до 1 мин;
- забивка анкера – 0,5 мин;
- нанесение набрызгбетона толщиной до 100 мм – 6 мин на 1 м².

По состоянию на 28.01.2017 г. закреплен участок ДШ-6, длиной 18 п.м. Всего установлено 178 комплектов СЗА-Армокрепь, израсходовано 38 т торкретбетонной смеси MasterRoc STS 1510. В результате осмотра выработки выявлены недостатки в части механического разрушения ковшом ПДМ слоя торкретбетонной крепи у почвы при зачистке «плинтусов» (рисунок 5.6).

Зафиксированы 2 трещины в кровле, предположительно от воздействия буровзрывных работ. Развитие динамики трещинообразования не наблюдалось. Рекомендовано устранить выявленные недостатки путем частичной разборки торкрет-слоя и нанесения нового до проектной толщины.



Рисунок 5.6. Участок правого борта ДШ-6 с механическим разрушением слоя набрызгбетона

31.01.2017 г. принято решение о вводе в процесс испытаний другого участка проходки выработки – закладочного штрека гор. +184 м.

По результатам комиссионного осмотра 07.02.2017 г. опытных участков зафиксировано следующее.

1. Выработка ДШ-6 гор. 13: выявленные ранее нарушения устранены, состояние крепи удовлетворительное. Поскольку проектом предусмотрена сбойка с восстающей выработкой (левый борт ДШ-6), напротив засечки произведен демонтаж установленной крепи с целью образования технологической ниши (гараж) под КПВ.

2. Выработка ГПР№ 5 Закладочный штрек + 184 м: в забое осуществлено два цикла БВР, с величиной уходки по 2 п.м. После первой уходки кровля и борта закреплены СЗА-Армокрепь. Армокаркасы частично покрыты слоем

набрызгбетона. На кровле выработки набрызгбетон практически отсутствует. Высота выработки увеличена, что явилось следствием значительного временного отставания (3 суток) работ по креплению после производства БВР. В результате породы от воздействия шахтной атмосферы потеряли свою устойчивость и обрушились в процессе бурения шпуров под анкеры. Всего на данном участке установлено 27 шт комплектов СЗА-Армокрепь.

По результатам ОПИ утвержден следующий цикл выполнения работ:

1. В течение первой после БВР смены осуществить отгрузку отбитой горной массы (ориентировочно 0,5 продолжительности смены) и произвести крепление обнаженной части забоя, кровли и бортов путем нанесения первого покрывающего слоя набрызгбетона MasterRoc STS 1510 толщиной до 50 мм (ориентировочно 0,5 продолжительности смены).

2. В течение второй смены осуществить бурение шпуров под анкеры в кровле и бортах выработки (диаметр шпуров 43-45 мм, расстояние между шпурами 0,8 м в соответствии с типовым паспортом ППП) и произвести установку крепи СЗА- Армокрепь (ориентировочно 0,25 продолжительности смены). Далее произвести бурение шпуров в забое, их зарядание и взрывание (ориентировочно 0,75 продолжительности смены).

3. В течение третьей смены осуществить работы аналогично первой смене, в дополнение к торкретбетонированию обнаженной части забоя осуществить торкретирование поверхности армокаркасов до полного их замоноличивания (до проектной толщины 150 мм).

Работы по проведению ОПИ были продолжены.

По состоянию на 24.02.2017 г. на участке закладочного штрека отм. +184 м пройдено и закреплено 28 п.м. выработки. Проведены повторные испытания несущей способности крепи, ранее установленной на участке ДОК 10 отм. 66 гор. 4 блок 5 бис, а также контрольных анкеров, установленных в ЗШ отм.+184 м (рисунок 5.7). Несущая способность на испытываемых анкерах составила 9-10 т.

На опытном участке закладочного штрека отм.+184 м израсходовано материалов: 314 комплектов СЗА-Армокрепь; 80 т торкретбетонной смеси MasterRoc STS 1510.



Рисунок 5.7. Испытания несущей способности анкерной крепи в ЗШ отм. +184 м

Результат ОПИ технологии крепления подземных горных выработок усиленной комбинированной крепью на основе самозакрепляющейся анкерной крепи (СЗА) по итогам 39 суток стояния закрепленных участков позволяет заключить, что анкерная крепь СЗА способна обеспечить устойчивость пород по контурам строящихся выработок, конструкция СЗА-Армокрепь предотвращает опасность вывалов частей пород в кровле и бортах выработки, даже при отставании торкретбетонного слоя крепи от забоя на величину до 10 м.

Согласно программе ОПИ, также проведены испытания прочностных свойств торкретбетонного слоя.

Оценивались адгезионные свойства торкретбетонного слоя, величина отскока при нанесении и подготавливались образцы для испытаний прочности на одноосное сжатие (рисунки 5.8-5.10).



Рисунок 5.8. Вид установленных рамок для определения адгезии



Рисунок 5.9. Подготовленный для сбора «отскока» полог на почве выработки опытного участка



Рисунок 5.10. Заполненная набрызгбетоном форма для получения образцов под испытания прочности на одноосное сжатие

По результатам испытания адгезии набрызгбетонного слоя с породой получили следующие величины прочности:

30 мин – 50 Н/м – 0,87 МПа;

1 час – 70 Н/м – 1,21 МПа;

3 часа – 100 Н/м – 1,73 МПа.

Согласно ВСН 126-90 во всех случаях применения набрызгбетонной крепи должно обеспечиваться сцепление набрызгбетона с породой не менее сопротивления самой породы на растяжение «в куске» для слабых и сильнотрещиноватых пород и не менее 0,5 МПа для крепких скальных. При использовании сухой смеси MasterRoc STS1510 требуемая адгезия достигается менее, чем за 30 мин.

Величину отскока материала набрызгбетона определяли в процессе его нанесения на борт выработки.

Методика определения величины отскока заключается в сопоставлении объемов выпущенного из бункера материала и упавшего на почву выработки. Для этого на почве между бортами выработки настился полог, шириной 1,5 м. Положение настила выбиралось, исходя из условия размещения его по центру планируемого фронта работ. После выпуска всего объема смеси из бункера попавший на пленку материал собирался в емкость и взвешивался. По результатам измерений определялась величина (объем и масса) упавшего материала на 1 м² почвы выработки. Измерялась фактическая длина закрепленного участка. Рассчитывалась соответствующая данной длине площадь почвы и объем отскочившей на нее в процессе крепления смеси. Величина отскока в данном случае представляется как отношение количества смеси, выпущенной из бункера, к количеству смеси на почве выработки:

$$\text{Отскок} = V_{\text{п}}/V_{\text{б}} \cdot 100 \% , \quad (5.1)$$

где $V_{\text{б}}$ – количество смеси, выпущенной из бункера; $V_{\text{п}}$ – количество смеси на почве выработки, определяемое:

$$V_{\text{п}} = A \cdot \frac{L_3 \cdot B}{S_{\text{пл}}}, \text{ м}^3 \quad (5.2)$$

где A – количество собранного с полога материала; $S_{\text{пл}}$ – площадь полога, м^2 ; L_3 – длина закрепляемого участка, м ; B – ширина выработки, м .

В результате расчета получили величину отскока материалов 5 %.

Согласно ВСН 126-90 в промышленных условиях для изготовления бетонных образцов, необходимых для испытания материала на сжатие и изгиб, произведено заполнение деревянных ящиков с размерами 500x500x120 мм набрызгбетоном MasterRoc STS 1510.

После хранения материалов в ящиках производится распиливание плиты на образцы кубической формы с размером ребра 100 мм для определения предела прочности на сжатие и образцы с размерами 40x40x160 мм для определения предела прочности на изгиб материалов в лабораторных условиях на 28 сут (рисунок 5.11).

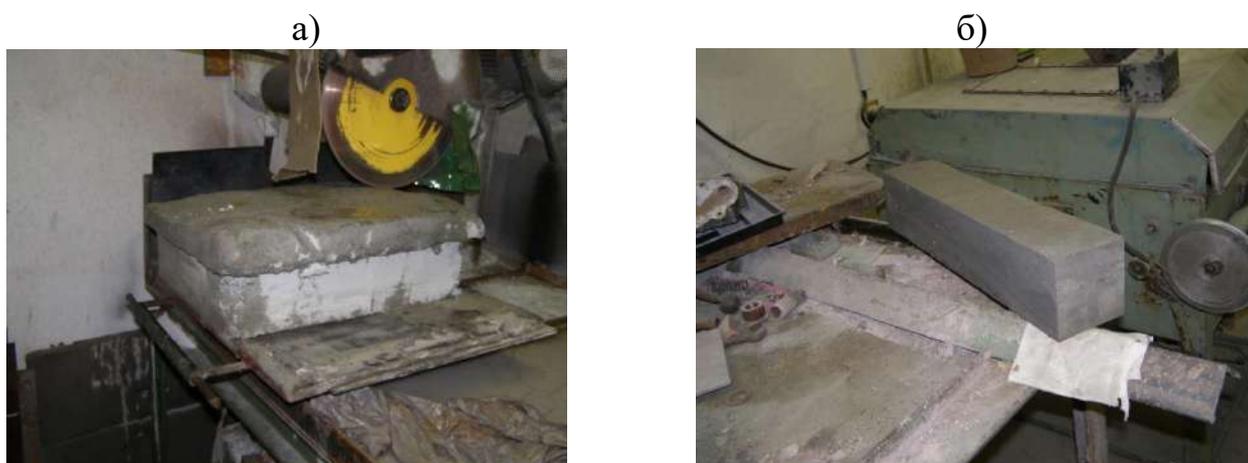


Рисунок 5.11. Фото образцов: а – распиловка образца; б – общий вид распиленной балки

Результаты определения пределов прочности образцов – кубов и образцов-балочек – приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Прочностные характеристики образцов, полученные в шахтных условиях

Период испытаний, сут.	Прочность на изгиб, МПа			
	Номер образца			Среднее
	1	2	3	
28	7,88	8,11	7,83	7,94

При расчете предела прочности при сжатии принимался поправочный коэффициент для образцов с размером ребра 100x100 мм, равный 0,95, согласно ВСН 126-90.

Результаты испытаний образцов на предел прочности при сжатии представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Результаты испытаний предела прочности при сжатии образцов

Период испытаний, сут.	Прочность на сжатие, МПа			
	Номер образца			Среднее
	1	2	3	
28	33,43	36,25	37,40	36,83

Ведение взрывных работ в непосредственной близости от покрытия из набрызгбетона допускается при наборе им прочности не менее 1 МПа (10 кгс/см²).

5.2. Опытно-промышленные испытания на «шахте Орловская» ТОО «Востокцветмет»

В качестве основного места проведения ОПИ комиссией в составе специалистов подземного рудника «Орловский» выбран разрезной орт № 2, находящийся на гор.15, блок 1, слой 15 (рисунок 5.12).



Рисунок 5.12. План разрезного орта №2 с указанием участка проведения ОПИ

Разрезной орт № 2 проходит по вкрапленной медно-колчеданной руде в серицит-хлоритовых метасоматитах. Массив сильнотрещиноватый с наличием 1, 2, 3 систем трещин. Коэффициент крепости пород по шкале профессора М.М. Протодьяконова $f=3$, Q-рейтинг – D, слабый.

Дополнительно произведено крепление сопряжения разрезного штрека № 1 с буровым штреком № 1 гор. 10, блок 12 с, слой 3 (рисунок 5.13). Выработки сопряжения имеют ширину 6,4 м, высоту 5,5 м.

Выработка пройдена по рудному массиву, представленному сплошной барит-полиметаллической рудой, сильнотрещиноватой, с наличием трех систем трещин, коэффициент пород по шкале профессора М.М. Протодьяконова $f=7-13$, объемный вес $4,64 \text{ т/м}^3$, Q-рейтинг – С, средней устойчивости.

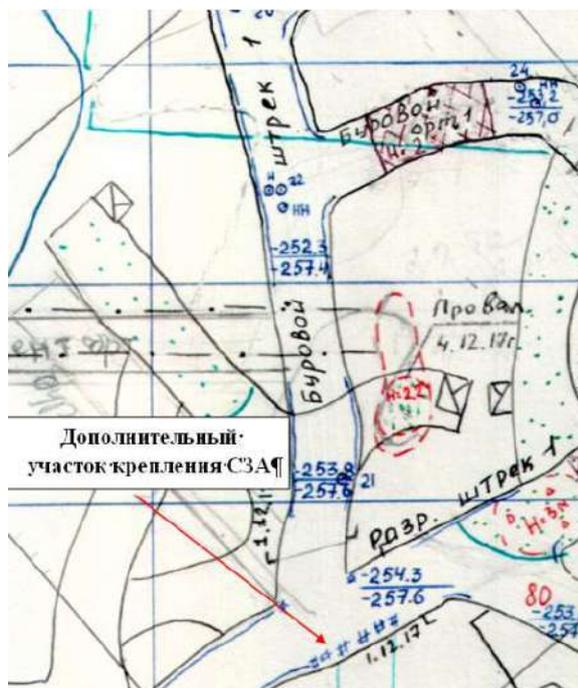


Рисунок 5.13. План сопряжения разрезного штрека № 1 с буровым штреком № 1

Крепление участка сопряжения разрезного штрека № 1 с буровым штреком № 1 гор. 10, блок 12 с, слой 3 связано с необходимостью оценки работы анкерной крепи СЗА в условиях значительного пролета (более 6 м), который возможно создать на пересечении двух выработок.

Перед производством работ по креплению в разрезном орте № 2 гор.15, блок 1, слой 15 принято решение разбить место проведения испытаний на три участка:

1. Участок 1 закрепить изолирующим слоем набрызгбетона и СЗА-Армокрепь.
2. Участок 2 закрепить изолирующим слоем набрызгбетона, СЗА-Армокрепь и покрывающим (несущим) слоем набрызгбетона.
3. Участок 3 закрепить СЗА-Армокрепь без набрызгбетона.

Работы по креплению участков проведения ОПИ специалистами шахты «Орловская» выполнялись в период с 12 ноября 2017 г. по 04 января 2018 г. Паспорта крепления представлены на рисунках 5.14, 5.15.

16 января 2018 г. проведено обследование закрепленной горной выработки гор.15, блок 1, слой 15 разрезной орт № 2 анкерной крепью СЗА и набрызгбетоном путем визуального осмотра с фиксацией вида и параметров крепи, а также ее возможных нарушений.

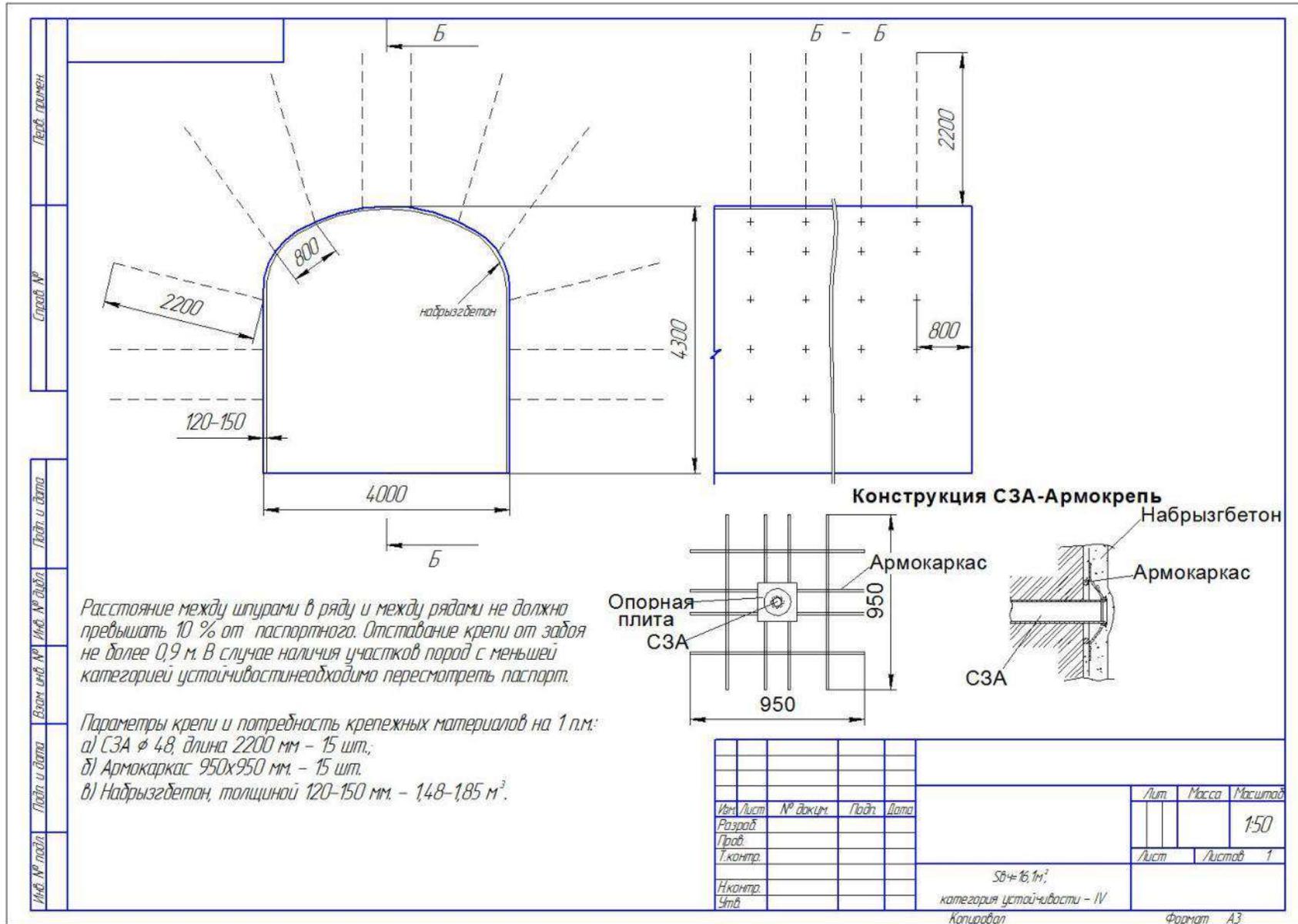


Рисунок 5.14. Паспорт крепления горной выработки, шириной 4м СЗА – Армокрепь с набрызгбетоном

При обследовании выявлено следующее:

- в интервале 0-5 м выработка закреплена анкерами с армокаркасами по кровле и бокам, торкрет нанесен только изолирующим слоем (рисунок 5.16);



Рисунок 5.16. Фотография контуров горной выработки, закрепленных и покрывающим слоем набрызгбетона и анкерами СЗА с армокаркасами

- в интервале 5-15 м выработка закреплена анкерами с армокаркасами по кровле и бокам, торкрет нанесен изолирующим и покрывающим слоями;
- в интервале 14-15 м на сопряжении разрезного орта №2 и разрезного штрека №1 произошло отслоение слоя набрызгбетона по площади 1 м², зафиксирована вертикальная трещина, длиной 1 м (рисунок 5.17). Нарушение торкретбетонного покрытия связано с его местоположением в наиболее напряженной зоне горного массива – на участке сопряжения двух выработок (так называемом «утюге»), который при соответствующем обосновании обычно закрепляется бетонной крепью в виде призмы, установленной на почве и удерживающей кровлю;
- в интервале 15-30 м выработка закреплена анкерами с армокаркасами по кровле, набрызгбетон нанесен изолирующим слоем и частично покрывающим слоем, общей толщиной 4-5 см;



Рисунок 5.17. Участок отслоения торкретбетонной крепи

– в интервале 30-50 м выработка закреплена анкерами с армокаркасами по кровле и бортам без слоя набрызгбетона (рис 5.18);



Рисунок 5.18. Участок горной выработки, закрепленный СЗА с армокаркасами без слоя набрызгбетона

– по южному левому борту в интервале 7 м до м. т. № 31 наблюдается отслоение нанесенного набрызгбетона на участке ниже установки анкерной крепи СЗА.

На протяжении всего участка испытаний в нижней части боков выработки («плинтуса») наблюдается отсутствие слоя набрызгбетона, вследствие наличия в этих местах остатков породы.

На момент визуального осмотра выявлены отклонения в плане несоблюдения параметров крепи, установленных паспортом:

- частично не закреплены борта выработки;
- местами отсутствует изолирующий слой набрызгбетона;
- толщина набрызгбетона менее 150 мм.

Согласно программе-методике оценку влияния условий эксплуатации на работоспособность анкеров планировалось производить путем контроля несущей способности анкеров прибором контроля анкерной крепи типа «Штанговывергиватель ПКА 3» по схеме, представленной на рисунке 5.19.

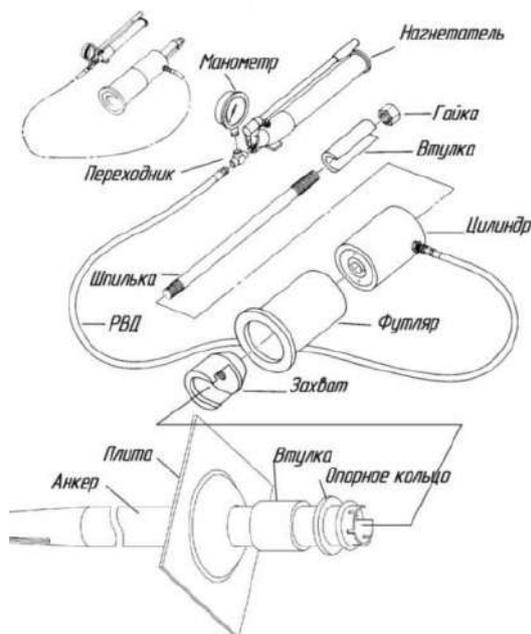


Рисунок 5.19. Схема соединения прибора контроля анкерной крепи и размещение дополнительных устройств на анкере для проведения испытаний

Для определения несущей способности крепи разработан и предоставлен специальный комплект переходных устройств, позволяющий определять несущую способность любого установленного анкера (рисунок 5.20).

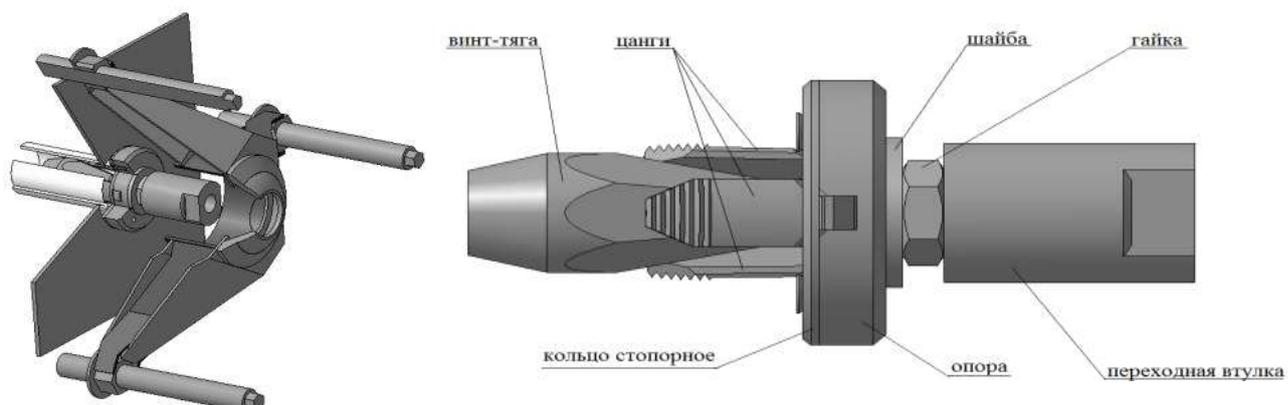


Рисунок 5.20. Комплект устройств для определения несущей способности анкеров СЗА

22 декабря произведены контрольные испытания несущей способности анкерной крепи СЗА. На момент испытаний длина закрепленного участка

составляла 20 м. Всего установлено 239 комплектов СЗА-Армокрепь. Нагружение анкеров производилось с помощью штанговывергивателя ПКА-3 через специальное переходное устройство цангового типа. Результаты испытаний несущей способности анкеров СЗА представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Результаты испытаний несущей способности анкеров СЗА

№ п/п	Место испытаний	Показания манометра, МПа	Нагрузка, кН (т)	Примечание
1	левый борт 5 м от забоя	190	90 (9)	без смещения анкера
2	кровля 5 м от забоя	110	50(5)	произошло смещение анкера
3	правый борт 7 м от забоя	110	50 (5)	произошло смещение анкера
4	левый борт 16 м от забоя	190	90 (9)	без смещения анкера
5	кровля 18 м от забоя	190	90 (9)	без смещения анкера

16 января 2018 г. проведены очередные испытания несущей способности анкерной крепи СЗА. На момент испытаний длина закрепленного участка составляла 50 м. Всего установлено 751 комплект СЗА-Армокрепь. Результаты проверки несущей способности анкеров СЗА на участке испытаний представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4. Результаты проверки несущей способности анкеров СЗА на участке испытаний

№ п/п	Место испытаний	Показания манометра, МПа	Нагрузка, кН (т)	Примечание
1	правый борт 20-25 м от первого ряда анкеров	160	78 (7,8)	без смещения анкера
2	левый борт, пята свода, 20-25 м от первого ряда анкеров	180	88 (8,8)	произошло смещение анкера
3	правый борт, пята свода, 20-25 м от первого ряда анкеров	160	78 (7,8)	без смещения анкера
4	кровля, 45-50 м от первого ряда анкеров	160	78 (7,8)	
5		150	72 (7,2)	
6		170	82 (8,2)	
7		160	78 (7,8)	
8		правый борт 25-35 м от первого ряда анкеров	170	
9	правый борт 30-40 м от первого ряда анкеров	190	92 (9,2)	
10	левый борт 20-30 м от первого ряда анкеров	170	82 (8,2)	

По результатам проверки несущей способности анкерной крепи СЗА по участкам ОПИ сделан вывод, что анкерная крепь СЗА отвечает заявленной несущей способности (более 50 кН) и позволяет обеспечить устойчивость пород в кровле и бортах выработок Орловской шахты.

В процессе обследования, согласно проекту производства работ по ОПИ усиленной комбинированной крепи, помимо работ по оценке несущей способности анкерной крепи СЗА, отобраны образцы руд и пород участка для исследования физико-механических свойств (глава 3 настоящей диссертации), и произведена общая визуальная оценка состояния участка.

На момент осмотра закрепленный участок выработки эксплуатируется в течение 2 месяцев. Состояние участка удовлетворительное. Нарушений в крепи не обнаружено.

Аналогично руднику «Артемовский» испытывались прочностные свойства набрызгбетонной крепи.

Прочностные показатели материала MasterRocSTS 1510 на сжатие на 28 сутки при лабораторных испытаниях получились равными 28,09 МПа, что соответствует классу бетона В 25-В30.

Для определения адгезионных свойств (сцепления) бетонного покрытия на первоначальном этапе производилось бурение специальных отверстий, установка арматурных прутков и навешивание на них металлических рамок.

Нанесение набрызгбетонной смеси MasterRoc STS1510 производилось установкой MeicoPiccola.

Сцепление определялось по результатам отрыва контрольных образцов.

Для определения величины смещений кровли и боков закрепленной выработки совместно с геотехнической службой и маркшейдерским отделом ОПК определены интервалы и произведена разметка мест установки наблюдательных станций (реперов) через каждые 5 м в разрезном орте №2 слоя 15 блока 1 горизонта 15 залежи «Новая» (рисунок 5.21).



Рисунок 5.21. Разметка мест установки наблюдательных станций (реперов) для определения величины смещения контуров горных выработок

16 февраля 2018 г. проведен комиссионный замер наблюдательных станций на участке, закрепленном СЗА-Армокрепь. Замер производился инструментальным методом инженером-геотехником и участковым маркшейдером Орловской шахты.

Результаты замера представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Результаты замера на наблюдательных станциях и соответствующих отклонений

№	Первоначальный замер			Отклонения		
	Y (м)	X (м)	Z (м)	Y (м)	X (м)	Z(м)
A	3071,41	3246,674	-551,56	-0,004	-0,001	0,013
A1	3073,53	3247,143	-553,02	-0,003	-0,004	0,01 1
A2	3073,81	3252,198	-553,63	0	-0,001	0,016
A3	3070,95	3251,35	-550,85	0	-0,002	0,012
A4	3069,42	3250,985	-553,76	-0,005	0,003	0,008
A5	3072,11	3256,464	-554,06	-0,001	-0,012	0,012
A6	3069,81	3255,449	-551,74	-0,007	-0,011	0,028
A7	3067,92	3254,855	-554,07	-0,007	-0,002	0,008
A8	3069,68	3260,771	-554,36	-0,008	0,041	0,036
A9	3066,97	3259,966	-552,09	-0,003	-0,007	0,02
A10	3067,67	3264,84	-554,61	0,006	0,01	-0,04
A11	3065,06	3264,512	-552,14	-0,005	-0,013	-0,017
A12	3063,01	3264,358	-554,64	-0,005	-0,001	-0,03
A13	3067,44	3269,836	-554,4	0,001	0,001	-0,033
A14	3065,38	3269,948	-552,1	0,002	-0,005	-0,035
A15	3062,72	3269,362	-554,45	0,004	-0,009	-0,027
A16	3066,58	3275,364	-554,79	0,001	-0,001	-0,03
A17	3063,73	3275,134	-552,75	0,002	0	-0,032

	Первоначальный замер			Отклонения		
A18	3065,77	3280,865	-554,86	-0,005	0,003	-0,03
A19	3062,95	3280,114	-553,05	0,001	-0,002	-0,032
A20	3061,43	3279,011	-554,82	-0,006	0	-0,024
A21	3062,87	3285,497	-554,64	0,001	-0,001	-0,024
A22	3061,16	3283,694	-553,07	-0,009	0,004	-0,009
A23	3059,7	3282,654	-554,74	-0,001	-0,001	-0,029
A24	3061,53	3288,422	-554,79	-0,001	0,002	-0,033
A25	3059,01	3287,145	-553,08	-0,009	-0,002	-0,023

Результаты замера показывают, что смещения в выработке, закрепленной СЗА-Армокрепь с набрызгбетоном, не превышают 3-4 см. При визуальном осмотре нарушений состояния крепления и массива не обнаружено.

5.3. Испытания в условиях Шахты десятилетия независимости Казахстана

Возведение крепи производилось на участке горной выработки БДО №7 гор. -10 м в характерных горно-геологических условиях с использованием самоходной буровой установки типа «Бумер». Анкеры диаметром 48 мм устанавливались в шпуров диаметром 43 мм.

Время установки одного анкера составило до 1 минуты.

Результаты испытаний анкеров на статическую нагрузку по опытным участкам представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Результат нагружения анкеров

№ пп	Диаметр анкера, мм	Длина анкера	Показания манометра, кг/см ²	Усилие нагружения, кН (т)	Характеристика состояния анкера
1	48	1850	180*	78 (7,8)	смещение анкера не зафиксировано
2	48	1850	180*	78 (7,8)	смещение анкера не зафиксировано
3	48	1850	180*	78 (7,8)	смещение анкера не зафиксировано

Испытания проводились в откаточном штреке восточный (далее ОШВ) горизонта -480 м (Строительство второй очереди шахты «10-летия независимости

Казахстана» Донского ГОКА – филиала ТНК «Казхром»), ограниченном заходками 184ag и 174ag (ОШВ) на участке, длиной 10 м (рисунок 5.22).

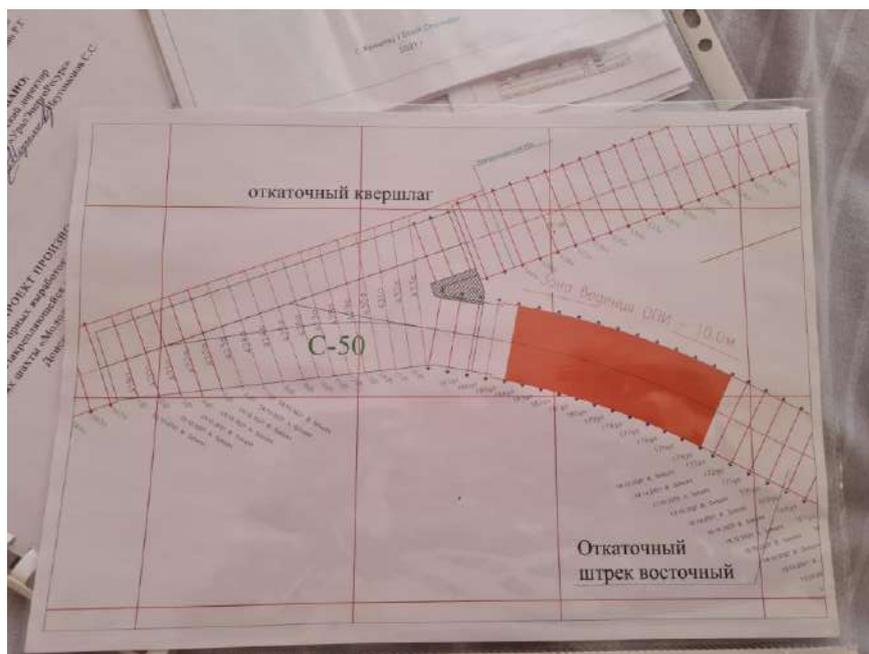


Рисунок 5.22. План участка проведения ОПИ

Участок ОПИ представлен следующими породами: дунит серпентинизированный серый, темно-серый, мелко-тонкозернистый массивный. Трещиноватость пород сильная, до интенсивной, разнонаправленная. Мощность трещин – от 0,1 до 0,5 см. Наблюдается обильное развитие вторичной минерализации в качестве заполнителя трещин серпופита и талька в виде примазок. Стенки трещин ровные, плоские, иногда с зеркалами скольжения, реже со слабо шероховатыми поверхностями. Отмечена относительная близость к разлому «Арыстан-Запад». Породы в груди забоя, кровле и бортах выработки характеризуются как малопрочные и среднепрочные, возможны вывалы из кровли и стенок выработки.

Класс 7.1. Длина заходки – 1 м. Непосредственно после каждой отбойки наносится слой набрызгбетона, радиальные анкера с армирующим каркасом (армокаркас); при ухудшении условий, пересечении разломов и т. п. крепь усиливается дополнительным навешиванием сетки УКК и нанесением набрызгбетона в три очереди.

04.11.2021 г. согласно утвержденной программе-методике и проекту производства работ разработаны дополнение к проекту и паспорт крепления выработки для условий участка испытаний ОШВ гор. -480 м.

Возведение опытной конструкции крепи на участке ОПИ осуществлялось в соответствии с паспортом крепления согласно действующему ППР ТОО «ШАХТБАУ Казахстан» (рисунок 5.23).



Рисунок 5.23. Состояние забоя выработки опытного участка перед проведением ОПИ

Перед началом работ установлены опытные образцы конструкции крепи и проведен предварительный инструктаж рабочих и специалистов.

Возведение крепи осуществлялось в следующем порядке (рисунки 5.24-5.25):

- после проведения буровзрывных работ на образованную поверхность бортов, кровли выработки и грудь забоя наносился слой набрызгбетона, толщиной до 50 мм, далее производилась уборка взорванной горной массы;

- по периметру бортов и кровли выработки в наступающем порядке (по направлению к забою) бурятся ряды шпуров до забоя с отставанием от него 0,9 м, в соответствии с паспортом крепления. Глубина шпуров – 2,2 м. Далее в шпуры производится установка анкеров СЗА совместно с армокаркасами и опорной плитой с помощью буровой каретки и специальных устройства – пуансона,

формирующего опорный узел в процессе установки за счет развальцовки части анкера вокруг упорного кольца;

- далее наносится второй слой набрызгбетона до проектной толщины 150-200 мм;

- производится бурение забоя, зарядание и взрывание.

Цикл работ повторяется.



Рисунок 5.24. Участок выработки, закрепленный СЗА-Армокрепь поверх первого слоя торкретбетона (начало испытаний)



Рисунок 5.25. Крепление сбойки опытного участка

Всего установлено 121 единиц комплектов крепи (анкеры СЗА совместно с армокаркасами). Закреплен участок длиной 10 п.м.

Среднее время на бурение 10 шпуров (1 ряда) глубиной 2,2 м составило 15 мин, замену буровой штанги на штангу с пуансоном и демонтаж вкладыша люнет – 7-8 мин.

Время на установку анкеров – не более 20 мин/ряд (10 анкеров) или 2 мин/анкер с учетом манипуляций по заправке анкера в стрелу податчика и настройки соосности анкера и шпура перед забиванием.

Несущая способность анкеров, фактически зафиксированная на участке ОПИ, – более 80 кН (8 т), что превышает нормируемую величину (50 кН) согласно требованиям ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные».

Также проведены испытания в вентиляционном сборочном штреке камера разворота (перегрузки) 2 гор -480 м (Строительство второй очереди шахты «10-летия независимости Казахстана» Донского ГОКА – филиала ТНК «Казхром»).

На данном участке ОПИ габбро-амфиболитовый комплекс слабо- и сильнотрещиноватый, частично раздробленный, милонитизированный, кремнисто-карбонатный заполнитель трещин, с включениями хлорита, пирита; устойчивость низкая. Рудный инженерно-геологический комплекс представлен плотной сетью трещин, с густым расположением раздробленных зон. Мощность зон раздробленности – от 2 до 10 м, в отдельных случаях до 40 м, породы крайне неустойчивые.

Класс 6. Длина заходки – 1,5 м. Непосредственно после каждой отбойкой наносится слой набрызгбетона, радиальные анкера с армирующим каркасом (армокаркас).

03.12.2021 г. согласно утвержденной программе-методике и проекту производства работ разработаны дополнение к проекту и паспорт крепления выработки для условий участка испытаний Вентиляционный сборочный штрек, камера разворота (перегрузки) 2, гор.-480 м в условиях производства работ ТОО «ШАХТБАУ Казахстан».

Возведение опытной конструкции крепи на участке ОПИ осуществлялось в соответствии с паспортом крепления согласно действующему ППР ТОО «ШАХТБАУ Казахстан».

06.12.2021 г. перед началом работ установлены опытные образцы конструкции крепи и проведен предварительный инструктаж рабочих и специалистов ТОО «ШАХТБАУ Казахстан» принципам и технологии возведения крепи СЗА.

Для крепления пород средней и неустойчивой категорий в условиях разработки шахты ДНК-2 испытывались конструкции крепи с использованием анкеров СЗА диаметром 48 мм, длиной анкера 2,05 м. В состав крепи также входят армокаркасы размером 950х950 мм. Характеристики крепи соответствуют паспорту и руководству по эксплуатации изделий завода-изготовителя.

Крепление выработок осуществлялось в следующем порядке:

– после проведения буровзрывных работ на образованную поверхность бортов, кровли выработки и грудь забоя наносится слой набрызгбетона, толщиной до 50 мм, далее производится уборка взорванной горной массы;

– по периметру бортов и кровли выработки в наступающем порядке (по направлению к забою) бурятся ряды шпуров до забоя с отставанием от него 0,9 м, в соответствии с паспортом крепления. Глубина шпуров – 2,2 м. Далее в шпуров производится установка анкеров СЗА совместно с армокаркасами и опорной плитой с помощью буровой каретки и специального устройства – пуансона, формирующего опорный узел в процессе установки за счет развальцовки части анкера вокруг упорного кольца;

– далее наносится второй слой набрызгбетона до проектной толщины 150-200 мм;

– производится бурение забоя, зарядание и взрывание.

Цикл работ повторяется.

Испытания на несущую способность проводились в соответствии с программой-методикой с помощью прибора контроля анкерной крепи ПКА-1, поверенным в установленном порядке (рисунок 5.26).



Рисунок 5.26. Испытания анкеров на несущую способность с использованием комплекта ПУШ для ПКА-1

Всего установлено 80 единиц комплектов крепи (анкеры СЗА совместно с армокаркасами). Закреплен участок длиной 6 п.м.

Несущая способность анкеров, фактически зафиксированная на участке ОПИ – более 80 кН (8 т), что превышает нормируемую величину (50 кН) согласно требованиям ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные».

По результатам проведенных испытаний можно заключить, что предлагаемые конструкции усиленной комбинированной крепи могут быть рассмотрены в качестве крепи горных выработок в условиях проходки шахты «10-летия независимости Казахстана» АО «ТНК «Казхром» по результатам наблюдений за участком ОПИ и получения технико-экономических показателей.

За период эксплуатации в течение двух месяцев деформаций и нарушений целостности крепи не обнаружено.

Испытания в условиях ШДНК 1-я очередь

Место проведения испытаний: штрек скреперования ШС-5/104, ШС-6/104 гор.-75 м.

Участок ОПИ представлен следующими породами: хромит густоовкрапленный, разномерный, до темно-зеленого, черного цвета в контакте с серпентинитами по дуниту. Массив слабой устойчивости, сильно трещиноватый. Трещины разноориентированы, заполнены серпентитом, сопровождаются зеркалами скольжения. Крепость руды $f=8-10$, пород – $f=10-12$.

18.11.2021 г. согласно утвержденной программе-методике и проекту производства работ разработаны паспорт крепления выработки для условий участка испытаний ШС-5, ШС-6 гор. -75 м в условиях производства работ участка ПОР-3 ШДНК.

Анкеры устанавливались с использованием ручного (переносного) бурового оборудования.

Торкретбетон не применялся. Поверх анкеров возведена металлическая арочная податливая крепь согласно основному проекту отработки.

Наблюдения за анкерами проводились визуально по состоянию обнажений пород в закрепленной зоне (рисунки 5.27, 5.28).

В ходе установки анкеров отмечено высокое сопротивление внедрению анкера в шпур при забивании ручным перфоратором. Дополнительно установлены анкеры диаметром 44 и 46 мм.

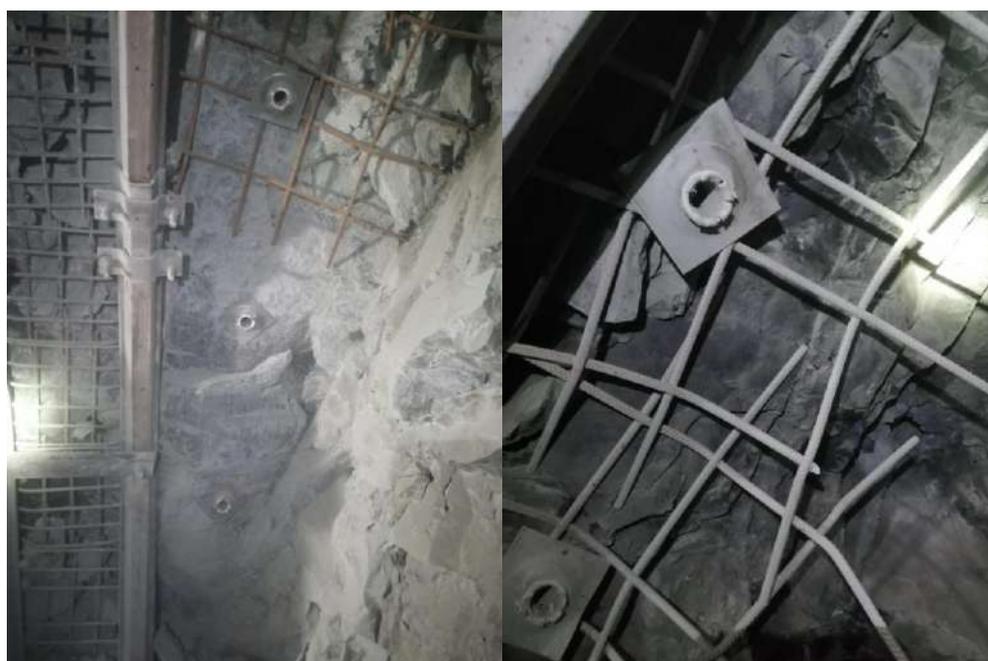


Рисунок 5.27. Установка анкеров на участке ШС-5

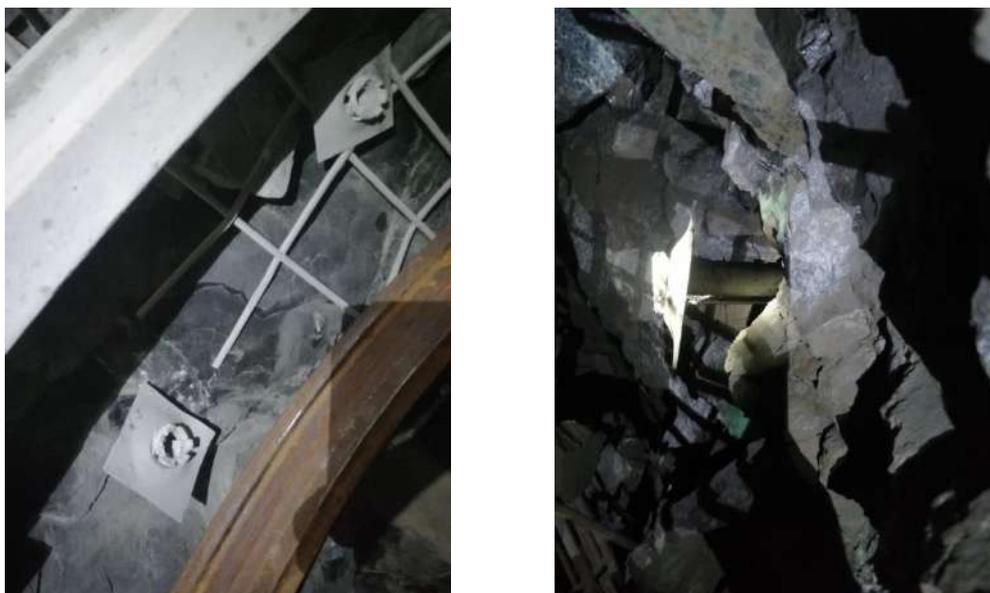


Рисунок 5.28. – Обыгрывание анкеров через 12 часов после установки

Всего установлено 37 единиц комплектов крепи (анкеры СЗА совместно с армокаркасами), по три ряда в ШС-5 и ШС-6 по руде и породе.

После производства взрывных работ в кровле отмечены факты мелкого обрушения (крошения) массива, вследствие чего наблюдается обыгрывание анкеров на глубину до 100-150 мм.

Бурение шпуров и размещение датчиков для фиксации смещений на глубину 6-8 м не представилось возможным по причине ограничений габаритов выработки и бурового инструмента.

Несущая способность анкеров, фактически зафиксированная на участке ОПИ, – не более 70 кН (7 т).

На рисунке 5.28. показаны случаи вывалов пород вокруг анкера после 12 часов с момента установки. Таким образом подтверждается ранее выдвинутое предположение (раздел 3.2 настоящей диссертации) о процессах разупрочнения приконтурного массива.

5.5. Испытания на Гремячинском месторождении

На основании полученных результатов теоретических и практических исследований принято решение апробацию методов расчета параметров крепи

осуществить при разработке соляного месторождения, отличающегося от рудных условиями залегания и разнопрочными разноструктурными породами в контурах выработок. В декабре 2021 года проведены испытания эксплуатационных характеристик и фактической несущей способности анкерной крепи СЗА производства ООО «УралЭнергоРесурс» в соответствии с программой-методикой на Гремячинском руднике «ЕвроХим-ВолгаКалий». Испытания проведены в выработках, пройденных в:

– галит-ангидритовой породе – светло-серой, серой, тонко-скрытозернистой, слоистой и вкрапленной. Слоистая и вкрапленная текстуры обусловлены распределением соли каменной в виде линз и включений. Породы характеризуются средним пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 50,2$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;

– соли каменной – от светло-серой до серой, участками со слабым коричневатым оттенком, слоистой, разнокристаллической, от мелко- до крупнокристаллической, с тонкими серыми сульфатными прослойками. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 37$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;

– зоне замещения сильвинитового пласта каменной солью – от серого до темно-серого, коричневатого-серого цвета, полосчатой, разнокристаллической. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 37$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;

– сильвините – белого, светло-серого, серовато-оранжевого цвета в большей своей части полосчатый, в отдельных прослоях массивный, среднекристаллический. Слоистость обусловлена переслаиванием сильвинита различных оттенков. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 20-30$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют.

Результаты испытаний и замеров представлены в таблицах 5.8 и 5.9. Сравнение результатов выполненных испытаний свидетельствует о преимуществе анкерной крепи типа СЗА для укрепления достаточно крепких вмещающих пород, представленных ангидритами и доломитами.

Для закрепления обнажений подземных выработок, пройденных в галит-ангидритовых породах, каменных солях и сильвинитах необходимо использовать анкера с другим типом антикоррозионного покрытия типа ПП.ЭП(Э) и иными параметрами закрепления. На это указывает сравнение показателей анкерных крепей: недостаточная несущая способность анкеров, установленных в сильвинитах и галит-ангидритовыми породах. Таким образом, принято решение об усовершенствовании конструкции анкера для закрепления низкопрочных солевых пород.

Опыт испытаний несущей способности анкерного крепления типа КРА (клино-распорные анкера) в условиях Гремячинского рудника показывает, что их несущая способность составляет 50-60 кН. При испытании относительно недавно установленных анкеров (до 1-2 месяцев) и менее, несущая способность их составила 50 Кн.

Сопоставительный анализ несущей способности анкеров типа СЗА и КРА показал достаточно высокую несущую способность (свыше 100 кН) сопротивлению выдергиванию анкеров каждого типа при установке в крепких доломитах и ангидритах. При этом больше дефектов в ходе установки и эксплуатации в агрессивных средах выявлено у анкеров КРА, так как их конструкция не предусматривает специальных защитных покрытий, в отличие от анкеров СЗА.

В слоистых и соляных породах испытания анкеров типа СЗА и КРА определили недостаточную несущую способность – 25-30 кН, что ниже требуемых 50 кН. Это объясняется тем, что сам принцип работы металлического анкера предполагает закрепление в крепких и прочных породах с пределом прочности на сжатие не менее 50 МПа, а массивы соляных пород и слоистых с включением соли характеризуются более низкой прочностью – около 30 Мпа.

Таблица 5.8. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик анкерной крепи с фрикционным типом закрепления, участок выработки ГСЗКВШ №1 в интервале ПК 70 – ПК170 по сильвинитам

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи.	Типоразмер крепи, ее комплектность	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм					АКП			Несущая способность, мПа* показ.прибора / кН
			длина стержня	диаметр стержня	толщина стенки стержня	ширина и высота упора	размеры опорной плиты / армокаркаса	толщина покрытия, мкм,	уровень податливости к механическому воздействию перед установкой, 0-10 балл	удельная пов-ть наруш. после установки, %	
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-48х3-1850, ОП 200х200, стандартный опорный узел, тип покрытия ПП.ЭП(Э)	1856	48,5	3,15	8,09	200х200 / 950х950	146-157	1	не оценив.	>15 / >70 >15 / >70 >15 / >70 >15 / >70 >15 / >70
2		СЗА-48х3-1850, ОП 200х200 с формованным опорным узлом, тип покрытия ПП.ПНД	1833	49,6	3,9	12,8	200х200 / 950х950	360-601	0-1	не оценив.	100 / 49 80 / 40 50 / 25 50 / 25 50 / 25 то же в зоне замещения сильвинитового пласта 120 / 58 – в галит-ангидритовой породе
3		СЗА-48х3-1850, ОП 200х200 ПП.ПНД, стандартный опорный узел	1852	50,7	4,38	8,69	200х200 / 950х950	498-711	0	не оценив.	не прошли испытаний нагрузка <50/<25
4		СЗА-46х2,5-1850 усиленный вставкой УФК, ОП 200х200 с формованным опорным узлом, ПП.ПНД.	1850	47,9	3,3	12,37	200х200 / 950х950	414-655	0	не оценив.	не прошли испытаний нагрузка <50 / <25

*Примечание: знак «>» указывает на то, что при достижении данной нагрузки смещений анкера не произошло.

Нормативная несущая способность крепи в скальных породах с пределом прочности на одноосное сжатие 40 МПа (и более) - не менее 50 кН

Таблица 5.9. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик анкерной крепи с фрикционным типом закрепления при эксплуатации анкеров более 3 месяцев

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи.	Место установки и геологическая характеристика	Типоразмер крепи, ее комплектность	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм		АКП		Несущая способность, МПа показ.прибора / кН
				диаметр стержня	размеры опорной плиты / армокаркаса	толщина покрытия, мкм,	удельная поверхность нарушений после установки, %	
1	ООО «ОКС», анкеры установлены согласно акту от 16.09.2021 г. проверены повторно.	ГЗТШ №2 ангидрит-доломитовая порода. Слоистая, массивная, скрытозернистая с включениями галита предел прочности на одноосное сжатие 77,2 МПа. Естественная трещиноватость, трещины разноориентированные залечены галитом.	АТФ W-профиля	не представилось возможным измерить				36 / 80 22 / 49 10 / 23 12-14 / <30 16 / 36
2			АТФ С-профиля	не представилось возможным измерить				30 / 68 19 / 42 12 / 26
3	ООО «УралЭнергоРесурс» анкеры установлены согласно акту от 16.09.2021 г. проверены повторно	ГСЗТШ №1 Сильвинит, переходная зона к доломиту	СЗА-48, ПНД	50,7	200x200 / 950x950	490-705	не оценив.	50 / 25 50 / 25 50 / 25
4	ООО «УралЭнергоРесурс» анкеры установлены в 2020 г.		СЗА-48, ПНД	не представилось возможным измерить		до 10%		15 / 70 17 / 80 15 / 70 15 / 70

*Примечание: анкеры АТФ испытывались с использованием прибора ПКА-15 по схеме соединения «через упорное кольцо»; анкеры СЗА испытывались с применением комплекта устройств «ПУШ» с ПКА-3. Величины нагрузки приняты по показаниям прибора в соответствии с переводной диаграммой, указанной в паспорте измерительного прибора.

Нормативная несущая способность крепи в скальных породах с пределом прочности на одноосное сжатие 40 МПа (и более) - не менее 50 кН

Новизна испытываемых конструкций (раздел 4.4 настоящей диссертации) заключалась в реализации в них идеи комбинирования различных способов закрепления анкера в шпуре: создание замковой части на основе механического распора в конической части анкера, формируемого посредством введения дополнительных элементов.

В ходе выполнения ОПИ изучены горно-геологические особенности месторождения, проанализированы сравнительные результаты испытаний разных видов крепления. По результатам натурных исследований определена недостаточная несущая способность применяемой анкерной крепи КРА и СЗА, что влияет на безопасность людей при выполнении проходческих работ.

Анализ результатов шахтных испытаний свидетельствует, что анкерная крепь КРА раскрепляется только замковой частью, вся нагрузка при отслаивании руды и породы действует на прижимную шайбу с гайкой, не обеспечивая несущую способность в конструкции анкера КРА.

В рамках проведения ОПИ анкерной крепи СЗА использован анкер в новом конструктиве с возможностью распределения нагрузок по всему анкеру, что позволит повысить нагрузку на анкер и снизить затраты на крепление 1 п.м выработки в целом, учитывая частоту установки анкеров, увеличить расстояние между рядами и снизить их количество в ряду.

Результаты испытаний подтвердили ранее высказанную гипотезу о целесообразности применения для обеспечения устойчивости сложноструктурных, разнопрочных и разномодульных соляных пород с включениями слабых прослоев соляных пород комбинированных анкеров с включениями вставок с отличающимися деформационными характеристиками с распором, обеспечивающимся металлическим клином или деревянными вкладками или усиленным фрикционным креплением и изменяющейся длиной вставки.

Опытные испытания выбранных конструкций анкерного крепления выполнены на участке Блоковый конвейерный штрек блока 12.2 2ВП, породы которого представлены следующими литологическими разностями:

1) ангидрит голубовато-серый, крепкий. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж.ср.}=130,9$ МПа (значение рассчитано на основании 24 определений), вскрывался в виде линзы кровле выработки в инт. ПК 122,7–125,6;

2) галит-ангидритовая порода серого цвета. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж.ср.}=49,4$ МПа (значение рассчитано на основании 25 определений), вскрывалась в кровле выработки в инт. ПК 211,8–219,4;

3) соль каменная (зона замещения сильвинитового пласта) со средним значением предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж.ср.}=35,8$ МПа (значение рассчитано на основании 38 определений), в инт. ПК 48,5–149,5; ПК 165,5–275,0;

4) сильвинит оранжево-серый, с буроватым оттенком, слоистый, загрязнен сульфатным материалом серого цвета. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж.ср.}=31,1$ МПа (значение рассчитано на основании 41 определения), в инт. ПК 48,5–219,4; ПК 234,2–330,1.

Результаты испытаний приведены в таблице 5.10.

Анализ данных таблицы 5.10 позволил установить, что все разработанные усовершенствованные конструкции анкеров показали несущую способность не менее 90 кН.

Дальнейшее увеличение нагрузки принято нецелесообразным, так как связано с риском поломки прибора.

Таблица 5.10. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров комбинированной конструкции в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в соляных породах.

№ п/п	Наименование организации-изготовителя крепи	Типоразмер крепи, ее комплектность	Место установки	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм				Показания прибора	Величина нагрузки, кН
				длина стержня	диаметр стержня	длина усиливающей вставки	размер опорной плиты/армокаркаса		
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-УФК	12 блок 2 восточной панели	1850	48	300	200x200/ 950x950	40	>90
2		СЗА-ПНД-Д		1850	48	300	200x200/ 950x950	40	>90
3		СЗА-ПНД-ПВХ		1850	48	300	200x200/ 950x950	40	>90
4		СЗА		1850	48	-	200x200/ 950x950	40	>90

Выводы по главе 5

Технология крепления выработок в породах средней и слабой устойчивости с использованием усиленной комбинированной крепи на основе СЗА-Армокрепь и набрызгбетона MasterRocSTS1510 вполне может быть применена в условиях Орловской шахты без существенного изменения номенклатуры имеющегося технологического оборудования по бурению шпуров и возведению набрызгбетона методом «сухого» нанесения, что благоприятствует переходу на данный вид крепи.

Породы IV категории теряют устойчивость в течение первых суток после их обнажения. Конструкция СЗА-Армокрепь обеспечивает временную устойчивость пород кровли даже при наличии отставания торкретбетонной крепи. Однако рекомендуется после обнажения пород в течение 2-6 часов произвести нанесение первого изолирующего слоя набрызгбетона.

Анкерная крепь СЗА может использоваться как самостоятельный способ крепления в породах II категории устойчивости, а конструкции СЗА-УКК и СЗА-Армокрепь совместно с набрызгбетоном – в породах III категории устойчивости.

При креплении горных выработок, проводимых в породах IV категории устойчивости, испытываемый способ крепления может рассматриваться как альтернативный металлической рамной крепи, типа СВП.

При переходе от металлического рамного крепления СВП к усиленным комбинированным конструкциям, типа СЗА-Армокрепь в сочетании с набрызгбетоном, необходимо руководствоваться следующим порядком крепления горных выработок:

- 1) после взрывных работ производится нанесение покрывающего слоя набрызгбетона, толщиной до 3 см;

- 2) в забое по периметру кровли и бортов выработки бурятся шпуров, глубиной 2,5 м, в которые производится установка анкеров СЗА совместно с армокаркасами буровой кареткой с применением специальных устройств – люнет, пуансон. В состав крепи входят анкер СЗА $d=48$ мм, $L=2200$ мм со стандартной опорной плитой 200×200 мм, армокаркасы размером 950×950 мм;

- 3) доведение слоя торкретбетонной крепи до общей толщины 12-15 см.

Сравнение результатов выполненных шахтных испытаний свидетельствует о преимуществе анкерной крепи типа СЗА для укрепления достаточно крепких вмещающих пород, представленных ангидритами и доломитами. Испытание крепи КРА также показали достаточно высокую несущую способность, но меньше защищены от коррозии и нарушений конструкции анкера при установке. Для закрепления обнажений подземных выработок, пройденных в галит-ангидритовых породах, каменных солях и сильвинитах необходимо использовать анкера с другим типом антикоррозионного покрытия типа ПП.ЭП(Э) и иными параметрами закрепления. На это указывает сравнение показателей анкерных крепей.

Потребовалось усовершенствование конструкции анкера с введением дополнительных вставок для закрепления низко прочных солевых пород с проведением опытно-промышленных испытаний.

Уточнение состава и специфики комплекса работ по возведению усовершенствованных конструкций комбинированной анкерной крепи произведено в ходе опытно-промышленной апробации комбинированных крепей инновационных конструкций в рудничных условиях в апреле-мае 2023 г. Испытания показали, что несущая способность всех испытанных анкеров превысила 90 кН, что значительно превышает требуемые значения. Дальнейшее увеличение нагрузки представилось технически нецелесообразным.

С учетом деформаций приконтурной части горных выработок, пройденных в соляных породах, рекомендовано использовать анкер с комбинированным видом закрепления, позволяющим закрепиться в устойчивой зоне и при этом обеспечить смещения в приконтурной части без потери нагрузочной способности опорного узла анкера.

Для испытаний разработаны принципиально новые конструкции анкеров комбинированного типа на основе следующих предположений: анкер должен иметь «якорь» в зоне закрепления относительно устойчивых пород; анкер должен обеспечивать закрепление по всей его длине без потери сцепления с массивом в результате деформаций; должна обязательно обеспечиваться связь между опорной

плитой и стержнем анкера при передаче нагрузок от совместно деформируемого массива на стержень анкера.

В процессе ОПИ выполнено исследование влияния технологии бурения шпуров под анкерное крепление с промывкой водой и без промывки. Всего испытано 4 конструкции анкеров: СЗА-УФК-15, СЗА-УФК-25, СЗА-УФК-35 и СЗА с замковой частью из деревянного черняка. Часть указанных анкеров в соляном массиве установлена в шпуры, пробуренные с промывкой, а часть – в шпуры, пробуренные без промывки. У анкера СЗА-УФК-25 с промывкой несущая способность составила 86 кН, без промывки водой – 52 кН. Для большей представительности результатов испытаний, особенно в соляных породах, склонных к растворению и, как следствие, увеличению диаметра шпура, требуется проведение дополнительных испытаний на специально выделенном опытно-промышленном участке.

В ходе проведения ОПИ фрикционных анкеров различной конструкции специалистами рудника зафиксирован факт роста несущей способности анкеров с демпфирующими вставками по мере стояния и нагружения, что объясняется увеличением сил горизонтального тангенциального зажима соляных пород с более высоким значением коэффициента относительных поперечных деформаций. Этот факт также требует подтверждения на дальнейших этапах опытно-промышленных исследований в динамике их развития.

Подтвердилась гипотеза, что упрочнение массива при расслоении пород кровли происходит за счет работы всего тела анкера.

Усиление в «замковой» части анкера при ее размещении в прочных породах работает как клин в анкерах типа КРА и не предотвращает расслоения горных пород.

Удержание массива кровли горной выработки происходит за счет сил трения, которые вовлекают в работу более прочные породы и препятствуют быстрому расслоению массива.

ГЛАВА 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ УСИЛЕННОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПЬЮ НА ОСНОВЕ СЗА

Технико-экономическое обоснование технологии крепления усиленной комбинированной крепью на основе СЗА включает проведение расчетов по определению затрат непосредственно на бурение шпуров и установку в них анкеров СЗА как отдельно, так и в сочетании с армокаркасами и/или металлической сеткой и последующим нанесением слоя набрызгбетона различной толщины. Расчеты проведены для условий крепления выработок на одном из рудников Казахстана. Цены приняты в соответствующей валюте на 2022 г.

При расчете величины затрат на бурение шпуров рассматриваются следующие статьи:

- а) затраты на материалы – расход буровых коронок, штанги, хвостовика по нормам;
- б) затраты на заработанную плату рабочего персонала – 1 бурильщика на бурении шпуров под анкера;
- в) затраты на амортизацию используемого оборудования – 1 бурильной установки типа Бумер или Мономатик.

В связи с тем, что в экономическом расчет будет производиться сравнение предлагаемой технологии крепления горных выработок анкерами СЗА с имеющейся технологией с использованием анкеров СПА, то при одинаковой длине анкеров затраты на бурение одного шпура тоже будут одинаковые.

При установке анкерной крепи СЗА расчет производится по следующим статьям:

- а) затраты на материалы – анкер СЗА (армокаркас, металлическая сетка, специальный вид опорной плиты для навески сетки);
- б) затраты на заработную плату – бурильщика и крепильщиков;
- в) затраты на амортизацию используемого оборудования – бурильной установки, корзины для навески сетки.

Для выполнения расчетов по определению величины затрат на бурение 1 шпура приняты следующие исходные данные:

- 1) площадь поперечного сечения горной выработки – 16 м²;
- 2) длина шпура – 2,2 м;
- 3) стоимость коронки штыревой - 2420,4 руб./шт;
- 4) стоимость хвостовика – 6035,9 руб./шт;
- 5) стоимость штанги – 9628,3 руб./шт;
- 6) стоимость буровой установки Мономатик – 13952315,9 руб.;
- 7) стоимость буровой установки Бумер – 27996713,3 руб.;
- 8) норма амортизации бурильных установок –16 % в год;
- 9) заработная плата бурильщика – 69833,3 руб./мес.

Затраты на расходные материалы при бурении шпуров рассчитываются по нормам расхода инструмента на проходку 1 м³ выработки и на 1 п.м шпура. Затраты на приобретение расходных материалов для бурения шпуров (коронки, хвостовика, штанги) приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Затраты на расходные материалы для бурения шпуров

Буровая установка	Наименование бурового инструмента	Норма расхода на		Цена, руб./шт.	Затраты на 1 п.м. шпура, руб.
		1м ³ выработки	1п.м шпура		
Мономатик, Бумер	Коронка штыревая	0,029	0,0108	2420,4	26,1
	Хвостовик	0,0024	0,0009	6035,9	5,4
	Штанга	0,0024	0,0009	9628,3	8,7
Итого на шпур, длиной 2,2 м, руб.					88,5

Месячная заработная плата бурильщика составляет 69833 руб./мес., затраты на 1 шпур под анкерную крепь по статье «Заработная плата» приведены в таблице 6.2.

Для бурильных установки, типа Мономатик и Бумер, норма амортизации составляет 16 % в год. Стоимость буровой установки Мономатик составляет 13952315,9 руб., Бумер – 21996713,3 руб. Ежемесячные амортизационные отчисления составляют для Мономатик – 193820,8 руб./мес., Бумер – 366611,9 руб./мес.

Таблица 6.2. Расчет затрат на бурение 1 шпура, длиной 2,2 м, под анкерную крепь по статье «Заработная плата»

Зарплата бурильщика, руб./мес.	Количество рабочих смен в месяц	Количество пробуренных шпуров в смену, шт	Затраты на бурение шпура под СЗА, руб./шпур
69833	30	150	15,6

Расчет амортизационных отчислений на 1 шпур под анкерную крепь, пробуренный буровыми установками Мономатик и Бумер, приведен в таблице 6.3.

Таблица 6.3. Расчет амортизационных отчислений на бурение шпура под анкерную крепь

Буровая установка	Амортизационные отчисления, руб.		Производительность установки, шп/сут	Амортизация при бурении одного шпура под СЗА, руб.
	Месячные	Суточные		
Мономатик	193820,8	12921,4	300	21,5
Бумер	366611,8	12220,4	300	40,7

Суммарные затраты на бурение шпуров под анкерную крепь, в зависимости от используемой буровой установки, приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Суммарные затраты на бурение шпуров под анкерную крепь

Буровая установка	Буровой инструмент, руб./шпур	Заработная плата бурильщика, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб./шпур
Мономатик	88,5	15,5	21,5	125,6
Бумер	88,5	15,5	40,7	144,8

Для экономических расчетов затрат на установку крепи выделены 6 различных вариантов крепления:

– 1 вариант – анкеры СЗА по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 1x1 м. Анкеров в ряду по кровле 6 шт., по бокам – 2 шт.;

– 2 вариант – анкеры СЗА по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 1x1 м. Анкеров в ряду по кровле 6 шт., по бокам – 2 шт. Набрызгбетон по кровле и бокам, толщиной 3 см. Объем набрызгбетона на п.м. при отскоке 10%=11,24*0,03*1*1,1=0,37 м³;

– 3 вариант – СЗА-Армокрепь по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9х0,9 м. Анкеров и армокаркасов в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 2 шт. Итого анкеров СЗА и армокаркасов в ряду – по 9 шт. Анкеров и армокаркасов на 1 п.м по кровле – 7,78 шт., по бокам – 2,22 шт. Итого анкеров СЗА и армокаркасов на 1 п.м. – 10 шт.;

– 4 вариант – СЗА-Армокрепь (анкер СЗА с армокаркасом) по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9х0,9 м. Анкеров и армокаркасов в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 2 шт. Анкеров и армокаркасов на 1 п.м по кровле – 7,78 шт., по бокам – 2,22 шт. Итого анкеров СЗА и армокаркасов на 1 п.м. – по 10 шт. Набрызгбетон толщиной 50 мм. Объем набрызгбетона на п.м= $11,24*0,05*1*1,1=0,618 \text{ м}^3$;

– 5 вариант – СЗА-УКК (Анкер СЗА с плитой для подвешивания сетки и сетка металлическая) по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9х0,9 м. Анкеров с плитой под сетку УКК в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 2 шт. Анкеров с плитой под сетку УКК на 1 п.м по кровле – 7,78 шт., по бокам – 2,22 шт. Итого анкеров СЗА на 1 п.м – 10 шт. Сетка УКК яч.100х100 мм. Расход сетки на 1 п.м – 9,5 м². Набрызгбетон толщиной 50 мм. Объем набрызгбетона на п.м= $11,24*0,05*1*1,1=0,618 \text{ м}^3$;

– 6 вариант – покрывающий слой торкретбетона, толщиной не менее 30 мм. Объем набрызгбетона на п.м.= $11,24*0,03*1*1,1=0,37 \text{ м}^3$. СЗА-УКК - Армокрепь (СЗА с плитой под УКК + армокаркас, набрызгбетон, сетка, набрызгбетон). Анкеры, длиной 2,2 м, с шагом 0,8х0,8 м. Анкеров с плитой под сетку УКК с армокаркасами в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 4 шт, на погонный метр – 13,75 шт., второй слой набрызгбетона 50 мм. Объем набрызгбетона на п.м.= $11,24*0,05*1*1,1=0,618 \text{ м}^3$. Сетка УКК яч.100х100, расход сетки на п.м. – 9,5 м². Третий слой набрызгбетона – до проектной толщины 150 мм. Объем набрызгбетона на п.м.= $11,24*0,07*1*1,1=0,87 \text{ м}^3$.

Указанные варианты сравниваются с имеющимися вариантами крепления на руднике по следующей схеме:

Категория устойчивости и тип выработки	Предложенный вариант крепления на основе СЗА	Имеющийся вариант крепления на шахте Орловская
II - ГПР, Нар и ОЧ	1 вариант - анкеры СЗА по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 1x1 м	1 вариант - анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 1x1 м
II-ГКР	2 вариант - анкеры СЗА по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 1x1 м. Набрызгбетон по кровле и бокам толщиной 3 см	2 вариант - анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 1x1 м. Набрызгбетон по кровле и бокам толщиной 3 см
III-Нар и ОЧ	3 вариант - СЗА-Армокрепь (анкер СЗА с армокаркасом) по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9x0,9 м	3 вариант - СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9x0,9 м. Сетка УКК яч.100x100 мм
III-ГКР,ГПР	4 вариант - СЗА-Армокрепь по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 0,9x0,9 м. Набрызгбетон толщиной 50 мм	4 вариант - СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м, с шагом 0,9x0,9 м. Сетка УКК яч.100x100 мм. Набрызгбетон толщиной 50 мм
	5 вариант - СЗА-УКК (Анкер СЗА с плитой для подвешивания сетки и сетка металлическая) по кровле и бокам, длиной 2,2 м с шагом 0,9x0,9 м, Сетка УКК яч.100x100 мм. Набрызгбетон толщиной 50 мм	
IV,V-ГКР,ГПР	6 вариант 1) покрывающий слой торкретбетона, толщиной не менее 50 мм. СЗА - Армокрепь (СЗА и Армокаркас), Анкеры длиной 2,2 м, с шагом 0,8x0,8 м. Второй слой набрызгбетона 70 мм.; 2) СЗА-УКК - Армокрепь (СЗА с плитой под УКК + Армокаркас, набрызгбетон, сетка, набрызгбетон). Анкеры длиной 2,2 м, с шагом 0,8x0,8 м. Второй слой набрызгбетона 50 мм. Сетка УКК яч.100x100. Третий слой набрызгбетона 70 мм	5 вариант 1) СВП – 22 с шагом установки рам 1 м и забутовкой лесом, диаметром 14-22 см; 2) СВП – 22 с шагом установки рам 0,7 м и забутовкой лесом, диаметром 14-22 см

Для выполнения расчетов по определению величины затрат на установку 1 анкера СЗА и конструкций на его основе приняты следующие исходные данные:

- 1) стоимость анкера СЗА, диаметром 48 мм, длиной 2200 мм – 698,3 руб./комп.;
- 2) стоимость армокаркаса 950x950 мм – 633,1 руб./шт.;
- 3) стоимость анкера СЗА диаметром 48 мм, длиной 2200 мм с плитой под сетку УКК – 946,2 руб./комп.;

- 4) стоимость сетки УКК – 430,4 руб./м²;
- 5) стоимость сухой смеси MasterRoc STS 1510 – 12075 руб./т;
- 6) заработанная плата крепильщика – 36666,7 руб./мес.;
- 7) стоимость установки Aliva 237 – 2298214,3 руб.;
- 8) норма амортизации установки Aliva 237– 10 % в год;
- 9) стоимость корзины для навески сетки – 10177083,3 руб.;
- 10) норма амортизации корзины для навески сетки – 16 % в год.

Расчет затрат выполнен по 1 варианту, в котором производится установка анкеров СЗА в комплекте с опорной плитой.

Расчет затрат по статье «Материалы» представлен в таблице 6.5.

Таблица 6.5. Расчет потребного количества материалов для крепления 1 шпура

№	Материал	Цена, руб./комп.	Норма расхода комп./шп.	Затраты, руб./шп.
1	Анкер СЗА, длиной 2,2 м	698,5	1	698,5

Стоимость установки СЗА рассчитывается исходя из трудозатрат бригады, состоящей из 1 крепильщика и 1 бурильщика. Заработная плата крепильщика составляет 36666,7 руб./мес., бурильщика – 69833,3 руб./мес.

Затраты на установку СЗА по статье «Заработная плата» представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Затраты на установку СЗА по статье «Заработная плата»

Заработная плата бурильщика, руб. /мес.	69833,3
Заработная плата крепильщика, руб. /мес.	36666,7
Количество рабочих смен в месяц на бригаду, смен	30
Количество установленных анкеров в смену, шт	150
Затраты на установку СЗА, руб. /шпур.	23,7

При установке СЗА используются те же бурильные машины, что и при бурении шпуров под анкера, и в забое выработки. Затраты по статье «Амортизация оборудования» представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Бурильная установка	Амортизационные отчисления, руб.		Количество установленных анкеров СЗА, комп/сут.	Амортизация при бурении шпура под СЗА, руб
	Месячные	Суточные		
Мономатик	193820,8	6460,7	300	21,5
Бумер	366611,8	12220,4	300	40,7

Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА по первому варианту приведены в таблице 6.8.

Таблица 6.8. Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА

Буровая установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Мономатик	698,5	23,7	21,5	743,7
Бумер	698,5	23,7	40,7	762,9

Суммарные затраты на бурение шпуров под анкеры СЗА и их установку представлены в таблице 6.9.

Таблица 6.9. Суммарные затраты на бурение шпуров под анкеры СЗА и их установку

Буровая установка	Затраты на бурение шпуров под анкеры СЗА, руб./шпур	Затраты на установку анкеров СЗА, руб./комп	Итоговые затраты на единицу, руб.	Затраты, на крепление 1 п.м., руб.
Мономатик	125,6	743,7	869,2	6954
Бумер	144,8	762,9	907,6	7261,2

Расчет затрат на анкерную крепь СЗА по второму варианту производится аналогично расчету, представленному выше. В данном случае добавляется набрызгбетон, толщиной 30 мм.

Произведем расчет затрат на возведение набрызгбетонной крепи, который включает следующие статьи:

- а) материалы набрызгбетонной крепи – сухая смесь;
- б) заработная плата – 2 крепильщика;
- в) амортизация оборудования – установки Aliva237.

В качестве набрызгбетонной смеси принимается готовая сухая смесь MasterRoc STS 1510, стоимостью 12075 руб./т. Для получения 1 м³ бетона необходимо в среднем израсходовать 1,6-1,8 т смеси. Расчет производится на 1 м² покрытия с величиной отскока 10 %.

Для получения величины затрат на заработную плату производится расчет норм выработки для толщины слоя набрызгбетона 3 см и использования готовых сухих смесей.

Норма выработки при толщине слоя 3 см составит:

$$N_{\text{выпр}} = \frac{T_{\text{смены}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{об}} - T_{\text{лп}} - T_{\text{всп}}}{t_o(1+T_{\text{отдыха, \%}}) + t_v(1+T_{\text{отдыха, \%}})} = \frac{660 - 27,3 - 7,7}{0,42 * (1+0,2) + 1,66 * (1+0,2)} = \frac{625}{2,50} = 225,40 \text{ м}^2/\text{смену.}$$

Затраты по статье «Материалы» представлены в таблице 6.10.

Таблица 6.10. Затраты по статье «Материалы»

Наименование компонента	Норма расхода		Стоимость единицы, руб./т	Затраты на 1 м ³ бетона	Затраты на 1 м ² покрытия, толщиной 3 см с учетом потерь 10%
MasterRoc STS 1510	1,8	т/м ³	12075	21735	717,3

Затраты по статье «Заработная плата» приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11. Затраты по статье «Заработная плата»

Зарплата крепильщика, руб./мес.	Количество рабочих, чел	Количество рабочих смен в месяц	Количество нанесенных м ² в смену	Затраты на крепление 1 м ² набрызгбетоном, руб./м ²
36666,7	2	30	225,4	10,8

Для возведения набрызгбетонной крепи применяется установка типа Aliva 237. Стоимостью установки составляет 2298214,3 руб. Затраты по статье «Амортизация оборудования» представлены в таблице 6.12.

Таблица 6.12. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Установка для торкретирования	Амортизационные отчисления, руб.		Количество нанесенных м ² в смену	Амортизация при торкретировании 1 м ² выработки, руб.
	Месячные	Суточные		
Aliva	19152,7	638,4	225,4	1,4

Итоговые затраты на нанесение 1 м² покрытия, толщиной 3 см, с отскоком 10 % представлены в таблице 6.13.

Таблица 6.13. Итоговые затраты на нанесение 1 м² покрытия, толщиной 3 см, с отскоком 10 %

Установка	Затраты на материалы, руб./м ²	Затраты на заработанную плату, руб./м ²	Затраты на амортизацию, руб./м ³	Итого затрат, руб./1м ²	Итого, на 1 п.м., руб./п.м.
Aliva	717,2	10,8	1,4	729,5	8316,5

Суммарные затраты по 2 варианту на крепление выработки анкерами СЗА и набрызгбетоном представлены в таблице 6.14.

Таблица 6.14. Суммарные затраты по 2 варианту на крепление выработки анкерами СЗА и набрызгбетоном

Буровая установка	Затраты, на крепление 1 СЗА, руб.	Затраты, на крепление 1 п.м. СЗА, руб.	Итого затраты по набрызг-бетону при применении готовых сухих смесей, на 1 м ² , руб./м ²	Итого затраты по набрызг-бетону при применении готовых сухих смесей, на 1 п.м., руб./п.м.	Итого, по варианту 2 и использованию готовых сухих смесей, руб./1 СЗА (0,95 м ²)	Итого, по варианту 2 и использованию готовых сухих смесей, руб./п.м.
Мономатик	869,2	6954	729,5	8316,5	1598,8	15270,5
Бумер	907,6	7261,2	729,5	8316,5	1637,2	15577,6

В 3 варианте установка армокаркасов производится совместно с анкерами и не требует дополнительно затрат времени. Разница в затратах на 1 анкер будет только по статье «материалы».

Расчет затрат по статье «Материалы» представлен в таблице 6.15.

Таблица 6.15. Расчет необходимого количества материалов для крепления 1 шпура.

№	Материал	Цена, руб./комп.	Норма расхода комп./шп.	Затраты, руб./шп.
1	Анкер СЗА, длиной 2,2 м	698,5	1	698,5
2	Армокаркас	633,1	1	633,1
Итого				1331,6

В таблице 6.16 представлены суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА по 3 варианту.

Таблица 6.16. Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА

Буровая установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Мономатик	1331,6	23,7	21,5	1376,8
Бумер	1331,6	23,7	40,7	1396

Суммарные затраты по 3 варианту на бурение шпуров под анкера СЗА и их установку представлены в таблице 6.17.

Таблица 6.17. Суммарные затраты по 3 варианту на бурение шпуров под анкера СЗА и их установку

Буровая установка	Затраты на бурение шпуров под анкера СЗА, руб./шпур	Затраты на установку анкеров СЗА с армокаркасами, руб./комп.	Итоговые затраты на единицу, руб./СЗА	Затраты, на крепление 1 п.м., руб./п.м.
Мономатик	125,6	1376,8	1502,4	15023,4
Бумер	144,8	1396	1540,8	15407,4

По 4 варианту расчет затрат на установку анкерной крепи производится аналогично расчету по 3 варианту. В данном случае добавляется набрызгбетон, толщиной 50 мм.

Затраты по статье «Материалы» представлены в таблице 6.18.

Таблица 6.18. Затраты по статье «Материалы»

Наименование компонента	Норма расхода		Стоимость единицы, руб./т	Затраты на 1 м ³ бетона	Затраты на 1 м ² покрытия, толщиной 3 см, с учетом потерь 10%
MasterRoc STS 1510	1,8	т/м ³	12075	21735	1195,4

Для получения величины затрат на заработную плату произведем расчет норм выработки для толщины слоя набрызгбетона 5 см и использования готовых сухих смесей.

Норма выработки при толщине слоя 5 см составит:

$$N_{\text{выр}} = \frac{T_{\text{смены}} - T_{\text{пз}} - T_{\text{об}} - T_{\text{лп}} - T_{\text{всп}}}{t_{\text{о}}(1 + T_{\text{отдыха, \%}}) + t_{\text{в}}(1 + T_{\text{отдыха, \%}})} = \frac{660 - 27,3 - 7,7}{0,56 * (1 + 0,2) + 1,83 * (1 + 0,2)} = \frac{625}{2,87} = 217,92 \text{ м}^2/\text{смену.}$$

Затраты по статье «Заработная плата» приведены в таблице 6.19.

Таблица 6.19. Затраты по статье «Заработная плата»

Зарплата крепильщика, руб./мес.	Количество рабочих, чел	Количество рабочих смен в месяц	Количество нанесенных м ² в смену	Затраты на крепление 1 м ² набрызгбетоном, руб./м ²
36666,7	2	30	217,92	11,22

Для возведения набрызгбетонной крепи применяется установка типа Aliva 237. Затраты по статье «Амортизация оборудования» представлены в таблице 6.20.

Таблица 6.20. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Установка для торкретирования	Амортизационные отчисления, руб.		Количество нанесенных м ² в смену	Амортизация при торкретировании 1 м ² выработки, руб.
	Месячные	Суточные		
Aliva	19151,7	638,4	217,92	1,5

Итоговые затраты на нанесение 1 м² покрытия, толщиной 5 см, с отскоком 10 % представлены в таблице 6.21.

Таблица 6.21. Итоговые затраты на нанесение 1 м² покрытия толщиной 5 см с отскоком 10%

Установка	Затраты на материалы, руб./м ²	Затраты на заработанную плату, руб./м ²	Затраты на амортизацию, руб./м ³	Итого затрат, руб./1м ²	Итого, на 1 п.м., руб./п.м.
Aliva	1195,4	11,2	1,5	1208,1	13772,4

Суммарные затраты по 4 варианту крепления горной выработки анкерами СЗА с армокаркасом и набрызгбетоном, толщиной 5 см. представлены в таблице 6.22.

Таблица 6.22. Суммарные затраты по 4 варианту крепления горной выработки анкерами СЗА с армокаркасом и набрызгбетоном

Буровая установка	Затраты, на крепление 1 СЗА-Армокрепь руб.	Затраты, на крепление 1 п.м. СЗА, руб.	Итого затраты по набрызгбетону, на 1 м ² , руб./м ²	Итого затраты по набрызгбетону, на 1 п.м., руб./п.м.	Итого, по варианту 4, руб./1 СЗА (0,95 м ²)	Итого, по варианту, руб./п.м.
Мономатик	1502,3	15023,4	1208,1	13772,4	2710,4	28795,8
Бумер	1540,7	15407,3	1208,1	13772,4	2748,8	29179,8

По 5 варианту крепление контуров горной выработки производится с помощью СЗА-УКК (анкер СЗА с плитой для подвешивания сетки и сетка металлическая).

Расчет затрат по статье «Материалы» представлен в таблице 6.23.

Таблица 6.23. Расчет потребного количества материалов для крепления 1 шпура

№	Материал	Цена, руб./комп.	Норма расхода комп. /шп.	Затраты, руб./шп.
1	Анкер СЗА с плитой под сетку УКК, длиной 2,2 м	946,2	1	946,2

Стоимость установки СЗА-УКК рассчитывается исходя из трудозатрат бригады, состоящей из 1 крепильщика и 1 бурильщика. Заработная плата крепильщика составляет 36666,7 руб./мес., бурильщика- 69833,3 руб./мес.

Затраты на установку СЗА по статье «Заработная плата» представлены в таблице 6.24.

Таблица 6.24. Затраты на установку СЗА по статье «Заработная плата»

Заработная плата бурильщика, руб./мес.	69833,3
Заработная плата крепильщика, руб./мес.	36666,7
Количество рабочих смен в месяц	30
Количество установленных анкеров в смену, шт	150
Затраты на установку СЗА, руб./шпур	23,7

При установке СЗА-УКК используются те же бурильные машины, что и при бурении шпуров. Затраты по статье «Амортизация оборудования» представлены в таблице 6.25.

Таблица 6.25. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Буровая установка	Амортизационные отчисления, руб.		Количество установленных анкеров СЗА, комп/сут	Амортизация при бурении шпура под СЗА, руб.
	Месячные	Суточные		
Мономатик	193820,8	6460,7	300	21,5
Бумер	366611,9	12220,4	300	40,7

Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА-УКК приведены в таблице 6.26.

Таблица 6.26. Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА-УКК

Буровая установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Мономатик	946,2	23,7	1221,5	991,4
Бумер	946,2	23,7	40,7	1010,6

Суммарные затраты на бурение шпуров под анкеры СЗА и установку крепи СЗА-УКК представлены в таблице 6.27.

Таблица 6.27. Суммарные затраты на установку анкерной крепи СЗА-УКК

Буровая установка	Затраты на бурение шпуров под анкеры СЗА, руб./шпур	Затраты на установку анкеров СЗА, руб./комп	Итоговые затраты на единицу, руб	Затраты, на крепление 1 п.м., руб
Мономатик	125,6	991,4	1117	11169,6
Бумер	144,8	1010,6	1155,4	11553,5

После установки анкеров СЗА со специальной опорной плитой производится навеска сетки.

Расчет затрат на установку сетки осуществляется в следующей последовательности.

1. Определяются затраты на материалы (таблица 6.28).

Таблица 6.28. Затраты по статье «Материалы»

№	Материал	Цена, руб. /комп (м ²)	Норма расхода комп. /шп.	Затраты, руб. /шп.
1	Сетка УКК	430,4	0,95	408,9

2. Определяются затраты на заработную плату при навеске сетки (таблица 6.29).

Таблица 6.29. Затраты на заработную плату при навеске сетки

Площадь установленной сетки в смену, м ²	70
Затраты на установку металлической сетки, руб./м ²	25,4
Затраты на установку металлической сетки, руб./СЗА	24,1

3. Рассчитываются затраты на амортизацию оборудования (таблица 6.30).

Таблица 6.30. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Установка	Амортизационные отчисления, руб.		Количество установленных кв. метров сетки, м ² /сут	Амортизация, руб. м ² /СЗА
	Месячные	Суточные		
Корзина для навески сетки	107916,7	3597,2	70	49

Суммарные затраты на установку сетки представлены в таблице 6.31.

Таблица 6. 31. Суммарные затраты на установку сетки

Установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Корзина для навески сетки	408,9	24,1	49	482

После установки сетки производится нанесение слоя набрызгбетона, толщиной 5 см. Суммарные затраты на нанесение 1 м² покрытия, толщиной 5 см, с отскоком 10 % представлены в таблице 6.32.

Таблица 6.32. Итоговые затраты на нанесение 1 м² покрытия, толщиной 5 см, с отскоком 10 %

Установка	Затраты на материалы, руб./м ²	Затраты на заработанную плату, руб./м ²	Затраты на амортизацию, руб./м ³	Итого затрат, руб./1 м ²	Итого, на 1 п.м., руб./п.м.
Aliva	1195,4	11,2	1,5	1208,1	13772,4

Затраты на крепление контуров горной выработки по 5 варианту представлены в таблице 6.33.

Таблица 6.33. Затраты на крепление контуров горной выработки по 5 варианту

Бурильная установка	Затраты, на крепление 1 СЗА-УКК, руб.	Затраты, на крепление 1 п.м. СЗА, руб.	Итого затраты по набрызгбетону при применении готовых сухих смесей, на 1 м ² , руб./м ²	Итого затраты по набрызгбетону при применении готовых сухих смесей, на 1 п.м., руб./п.м.	Итого, по варианту 5 и использованию готовых сухих смесей, руб./п.м.
Мономатик	1598,9	15989,4	1208,1	13772,4	29761,8
Бумер	1637,3	16373,4	1208,1	13772,4	30145,8

По 6 (1, 2) вариантам крепления затраты складываются из значений, полученных выше.

Затраты по варианту 6 представляют собой сумму затрат по варианту 4 (Мономатик - 28795,8 руб./п.м., Бумер – 29179,8 руб./п.м.) и затрат на набрызгбетонное покрытие, толщиной 70 мм (19247,1 руб./п.м.).

Затраты на устройство покрывающего слоя различной толщины представлены в таблице 6.34.

Таблица 6.34. Затраты на устройство покрывающего слоя

Набрызгбетон	Затраты на 1 м ² при различной толщине слоя, руб./м ²		Затраты на 1 п.м. при различной толщине слоя, руб./п.м.	
	3 см	5 см	3 см	5 см
MasterRoc	729,5	1208,1	8316,49	13772,4

В данном варианте производится установка крепи СЗА со специальной опорной плитой для навески сетки, а также установка армокаркаса в количестве 15 шт. анкеров и армокаркасов на погонный метр. Затраты на установку крепи СЗА – УКК – Армокрепь представлены в таблице 6.35.

Таблица 6.35. Затраты на установку крепи СЗА – УКК – Армокрепь

Бурение шпуров 2,2 м	руб./шпур
Мономатик	125,6
Бумер	144,8
Установка СЗА-УКК-Армокрепь	руб./шпур
Мономатик	1624,5
Бумер	1643,7
Итого, руб./п.м	
Мономатик	22336,4
Бумер	22600,4

После установки крепи СЗА– УКК – Армокрепь производится нанесение слоя набрызгбетона, толщиной 50 мм. Затраты на нанесение набрызгбетона представлены в таблице 6.36.

Таблица 6.36. Затраты на нанесение слоя набрызгбетона, толщиной 50 мм

Набрызгбетон	Затраты на 1 м ² при толщине слоя 5 см, руб./ м ²	Затраты на 1 п.м. при толщине слоя 5 см, руб./п.м
MasterRoc	1208,1	13772,4

После нанесения набрызгбетона производится навеска металлической сетки. Затраты на навеску сетки представлены в таблице 6.37.

Таблица 6.37. Затраты на навеску сетки

Затраты на навеску сетки, отнесенные на 1 СЗА, руб./СЗА	481,7
Затраты на навеску сетки на 1 п.м., руб./п.м	5494,4

После навески сетки производится нанесение набрызгбетона, толщиной 70 мм.

Затраты на нанесение набрызгбетона представлены в таблице 6.38.

Таблица 6.38. Затраты на нанесение слоя набрызгбетона, толщиной 70 мм

Набрызгбетон	Затраты на 1 м² при толщине слоя 7 см, руб./ м²	Затраты на 1 п.м. при толщине слоя 7 см, руб./п.м
MasterRoc	1208,1	19281,4

Суммарные затраты на крепление контуров горной выработки по 6 (2) варианту представлены в таблице 6.39.

Таблица 6. 39. Суммарные затраты на крепление контуров горной выработки по 6 (2) варианту

Бурильная установка	Затраты на крепление 1 СЗА – УКК – Армкрепь, руб./комп	На п.м., руб./п.м.
Мономатик	5858	72026,5
Бумер	5896,4	72554,5

Затраты на крепление 1 п.м выработки по 6 вариантам представлены в таблице 6.40.

Технико-экономическое обоснование технологии крепления горных выработок сталепolyмерной анкерной крепью включает проведение расчетов по определению затрат непосредственно на бурение шпуров и установку в них анкеров СПА как отдельно, так и в сочетании с металлической сеткой и последующим нанесением слоя набрызгбетона различной толщины.

Расчет величины затрат на бурение шпуров рассмотрен ранее.

При установке анкерной крепи СПА расчет производится по следующим статьям:

- а) затраты на материалы – анкер СПА в комплекте с 3 ампулами (металлическая сетка, набрызгбетон);
- б) затраты на заработную плату – бурильщика и крепильщиков;
- в) затраты на амортизацию используемого оборудования – корзины для установки анкеров СПА и навески сетки.

Таблица 6.40. Затраты на крепление 1 п.м выработки анкерной крепью СЗА по 6 вариантам

1 вариант	на единицу, руб./1 СЗА	на 1 п.м., руб./п.м.
Мономатик	869,3	6954
Бумер	907,65	7261,2
2 вариант		
Мономатик	1598,8	15270,5
Бумер	1637,2	15577,7
3 вариант		
Мономатик	1502,3	15023,4
Бумер	1540,7	15407,4
4 вариант		
Мономатик	2710,4	28795,8
Бумер	2748,8	29179,8
5 вариант		
Мономатик	2807,0	29761,8
Бумер	2845,4	30145,8
6 вариант		
1		
Мономатик	2263,1	48042,9
Бумер	2291,0	48426,9
2		
Мономатик	5858	72026,5
Бумер	5896,4	72554,5

Следует отметить, что времени на установку сетки при применении анкеров СПА требуется больше, чем при применении анкеров СЗА, так как у последних предусмотрен специальный вид опорной плиты для подвешивания сетки, что упрощает процесс установки.

Исходя из вида крепи и ее параметров, для пород различной категории устойчивости в условиях строительства горных выработок Орловской шахты в последующих экономических расчетах затрат на установку крепи выделены 4 варианта:

– 1 вариант – анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м и шагом 1x1 м. Анкеров в ряду по кровле 6 шт., по бокам – 2 шт.;

– 2 вариант – анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м и шагом 1x1 м. Анкеров в ряду по кровле 6 шт., по бокам – 2 шт. Набрызгбетон по кровле и бокам, толщиной 3 см. Объем набрызгбетона на п.м. при отскоке 10 % = $11,24 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,37 \text{ м}^3$;

– 3 вариант – анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м и шагом 0,8х0,8 м, с металлической сеткой. Анкеров и армокаркасов в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 2 шт. Итого анкеров СПА на 1 п.м. – 11 шт. Сетка УКК яч.100х100 мм. Расход сетки на 1 п.м. – 9,5 м²;

– 4 вариант – анкеры СПА по кровле и бокам, длиной 2,2 м и шагом 0,8х0,8 м, с металлической сеткой. Анкеров и армокаркасов в ряду по кровле 7 шт., по бокам – 2 шт. Итого анкеров СПА на 1 п.м. – 11 шт. Сетка УКК яч.100х100 мм. Расход сетки на 1 п.м. – 9,5 м². Набрызгбетон толщиной 50 мм. Объем набрызгбетона на п.м.= 11,24*0,05*1*1,1=0,618 м³.

Для выполнения расчетов по определению величины затрат на установку 1 анкера СПА и конструкций на его основе приняты следующие исходные данные:

- 1) стоимость анкера СПА, длиной 2200 мм – 348,3 руб./шт;
- 2) ампулы для анкеров СПА – 28 руб./шт;
- 3) стоимость сетки УКК – 430,4 руб./м²;
- 4) стоимость сухой смеси MasterRoc STS 1510 – 12075 руб./т;
- 5) заработная плата крепильщика – 36666,7 руб./мес.;
- 6) стоимость установки Aliva 237 – 2298214,3 руб.;
- 7) норма амортизации установки Aliva 237 – 10 % в год;
- 8) стоимость корзины для навески сетки – 10177083,3 руб.;
- 9) норма амортизации корзины для навески сетки – 16 % в год.

Расчет затрат произведен по 1 варианту, в котором производится установка анкеров СПА в комплекте с 3 ампулами.

Расчет затрат по статье «Материалы» представлен в таблице 6.41.

Таблица 6.41. Расчет потребного количества материалов для крепления 1 шпура

№	Материал	Цена, руб./комп.	Норма расхода комп. /шп.	Затраты, руб. /шп.
1	Анкер СПА, длиной 2,2 м	348,3	1	348,3
2	Ампула	28	3	84
Итого				432,3

Затраты на установку 1 СПА без учета НДС по нормам рудника составляют порядка 476,4 руб./комп.

Суммарные затраты на бурение шпуров под анкеры СПА и их установку представлены в таблице 6.42.

Таблица 6.42. Суммарные затраты на бурение шпуров под анкеры СПА и их установку

Буровая установка	Затраты на бурение шпуров под анкеры СПА, шт./шпур	Затраты на материалы, шт./комп	Затраты на установку анкеров СПА, шт./комп	Итоговые затраты на единицу, шт.	Затраты на крепление 1 п.м., шт.
Мономатик	125,6	432,3	476,4	1034,3	8274,4
Бумер	144,8	432,3	476,4	1053,5	8428

Расчет затрат на анкерную крепь СПА по второму варианту производится аналогично расчету, представленному выше. В данном случае добавляются затраты на возведение набрызгбетона, толщиной 30 мм, с отскоком 10 %.

Суммарные затраты по 2 варианту на крепление выработки анкерами СПА и набрызгбетоном представлены в таблице 6.43.

Таблица 6.43. Суммарные затраты по 2 варианту на крепление выработки анкерами СПА и набрызгбетоном

Буровая установка	Затраты на крепление 1 СПА, руб.	Затраты на крепление 1 п.м. СПА, руб.	Итого затраты по набрызгбетону при применении готовых сухих смесей, на 1 м ² , руб./м ²	Итого затраты по набрызгбетону при применении готовых сухих смесей, на 1 п.м., руб./п.м.	Итого, по варианту 2 и использованию готовых сухих смесей, руб./1 СЗА (0,95 м ²)	Итого, по варианту 2 и использованию готовых сухих смесей, руб./п.м.
Мономатик	1034,3	8274,4	729,5	8316,5	1763,8	16590,9
Бумер	1053,5	8428	729,5	8316,5	1783,0	16744,5

По 3 варианту производится установка анкеров СПА, аналогично 1 варианту, и навеска металлической сетки. Произведем расчет затрат на навеску сетки в следующей последовательности:

1. Определяются затраты на материалы (таблица 6.44).

Таблица 6.44. Затраты по статье «Материалы»

№	Материал	Цена, руб. /комп (м ²)	Норма расхода комп./шп.	Затраты, руб./шп.
1	Сетка УКК	430,4	0,95	408,9

2. Определяются затраты на заработную плату при навеске сетки (таблица 6.45)

Таблица 6.45. Затраты на заработную плату при навеске сетки

Площадь установленной сетки в смену, м ²	50
Затраты на установку металлической сетки, руб./м ²	59,9
Затраты на установку металлической сетки, руб./СЗА	56,9

3. Рассчитываются затраты на амортизацию оборудования (таблица 6.46)

Таблица 6.46. Затраты по статье «Амортизация оборудования»

Установка	Амортизационные отчисления, руб.		Количество установленных кв. метров сетки, м ² /сут	Амортизация, руб./м ² /СПА
	Месячные	Суточные		
Корзина для навески сетки	135694,4	4523,1	50	86,1

Суммарные затраты на установку сетки представлены в таблице 6.47.

Таблица 6. 47. Суммарные затраты на установку сетки

Установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Корзина	409,0	56,9	86,1	552,0

Суммарные затраты по 3 варианту представлены в таблице 6.48.

Таблица 6.48. Суммарные затраты по 3 варианту

Буровая установка	Затраты на установку анкеров СПА, руб./комп	Затраты на навеску сетки, руб./м ²	Итоговые затраты на единицу, руб	Затраты, на крепление 1 п.м., руб
Мономатик	1034,3	551,9	1586,2	15862,4
Бумер	1053,5	551,9	1605,4	16054,4

В 4 варианте расчет производится аналогично 3 варианту с добавлением затрат на нанесение набрызгбетонного покрытия, толщиной 5 см. Суммарные затраты по 4 варианту представлены в таблице 6.49.

Таблица 6.49. Суммарные затраты по 4 варианту

Буровая установка	Затраты на установку анкеров СПА и металлической сетки, руб./комп	Затраты на торкретирование слоем 5 см, руб./м ²	Итоговые затраты на единицу, руб.	Затраты, на крепление 1 п.м., руб.
Мономатик	1586,2	1208,1	2794,3	31221,0
Бумер	1605,4	1208,1	2813,5	31432,2

В таблице 6.50 представлены затраты на крепление горных выработок анкерами СПА (металлической сеткой, набрызгбетоном) по 4 вариантам.

Таблица 6.50. Затраты на крепление горных выработок анкерами СПА

1 вариант	на единицу, руб.	на 1 п.м., руб./п.м.
Мономатик	1034,3	8274,4
Бумер	1053,5	8428,0
2 вариант		
Мономатик	1763,8	16590,9
Бумер	1783,0	16744,5
3 вариант		
Мономатик	1586,2	15862,4
Бумер	1605,4	16054,4
4 вариант		
Мономатик	2794,3	31221,0
Бумер	2813,5	31432,2

Для выявления экономической эффективности крепления анкерной крепью СЗА и конструкций на ее основе производится сравнение величин затрат на 1 п.м при креплении СЗА и СПА по вариантам (таблица 6.51).

Также произведен расчет затрат на крепление горных выработок рамными крепями.

Рассмотрен вариант применения металлической рамной крепи СВП-22 с шагом 0,7-1 м и забутовкой из леса-кругляка, диаметром 14-22 см. Расстояние между рамами 0,7 м выдерживается при проходке горных выработок в неустойчивых породах IV-V категориях устойчивости горного массива.

При установке крепи СВП расчет производится по следующим статьям:

- а) затраты на материалы – рама СВП, хомуты, метизы, скобы, лес-кругляк;
- б) затраты на заработную плату – оператора корзины для установки рамы и крепыльщиков-рамщиков;

в) затраты на амортизацию используемого оборудования – корзины для установки рамы СВП.

Таблица 6.51. Экономическая эффективность крепления анкерной крепью СЗА и конструкциями на ее основе.

	СЗА	СПА	Экономия по затратам	
	руб./п.м.	руб./п.м.	руб./п.м.	%
1 вариант				
Мономатик	6954,0	8274,4	1320,4	15,96
Бумер	7261,2	8428,0	1166,8	13,84
2 вариант				
Мономатик	15270,5	16590,9	1320,4	7,96
Бумер	15577,7	16744,5	1166,8	6,97
3 вариант				
Мономатик	15023,4	15862,4	839,0	5,29
Бумер	15407,4	16054,4	647,0	4,03
4 вариант				
Мономатик	28795,8	31221,0	2425,3	7,77
Бумер	29179,8	31432,2	2252,5	7,17
5 вариант				
Мономатик	29761,8	31221,0	1459,2	4,67
Бумер	30145,8	31432,2	1286,4	4,09

Для выполнения расчетов по определению величины затрат на установку 1 рамы СВП приняты следующие исходные данные:

- 1) стоимость рамы СВП – 102,7 руб./кг (вес рамы – 262,8 кг);
- 2) стоимость скобы М20 – 183,3 руб./шт;
- 3) стоимость хомута ЗПК – 616,7 руб./шт;
- 4) стоимость леса для забутовки в размер – 5000 руб./м³;
- 5) заработная плата крепильщика-рамщика – 58333,3 руб./мес.;
- 6) стоимость корзины для навески сетки – 10177083,3 руб.
- 7) норма амортизации корзины для навески сетки – 16 % в год.

Расчет затрат по статье «материалы» представлен в таблице 6.52.

Таблица 6.52. Расчет потребного количества материалов для крепления 1 рамы

№	Материал	Цена, руб./кг	Норма расхода кг. (лес-м ³)	Затраты, руб./комп.
1	Профиль СВП	102,7	262,8	26980,8
2	Скобы М20	183,3	4	733,3
3	Хомут ЗПК	616,7	2	1233,3
4	Лес на забутовку, тг/м ³	5000,0	1,56	7800,0
Итого				36747,4

При креплении горной выработки рамами СВП задействованы 1 оператор корзины и 3 крепильщика-рамщика. За 3 смены бригада из 4 человек устанавливает 2 рамы СВП.

Затраты на заработную плату бригады рабочих представлены в таблице 6.53.

Таблица 6.53. Затраты по статье «Заработная плата»

Заработная плата оператора корзины, руб./мес.	69833,3
Заработная плата рамщика, руб./мес.	58333,3
Количество рабочих смен в месяц	30
Количество установленных рам в смену, шт	0,67
Затраты на установку рамы СВП, руб./СВП	12241,7

Для установки рам задействована корзина. Затраты по статье «Амортизация» представлены в таблице 6.54.

Таблица 6.54. Затраты по статье «Амортизация»

Установка	Амортизационные отчисления, руб.		Количество установленных рам, комп./сут	Амортизация, руб./СВП
	Месячные	Суточные		
Корзина для установки рам	135694,4	4523,1	1,33	3392,4

Суммарные затраты на установку 1 рамы представлены в таблице 6.55.

Таблица 6.55. Суммарные затраты на установку 1 рамы СВП

Установка	Материалы, руб./шпур	Заработная плата, руб./шпур	Амортизационные отчисления, руб./шпур	Итого, руб.
Корзина	36747,5	12241,7	3392,4	52381,6

Сравнительные затраты при креплении в IV и V категории устойчивости предлагаемой технологией на основе СЗА и имеющейся технологией на основе СВП представлены в таблице 6.56.

Проведенные опытно-промышленные испытания позволили установить время на возведение крепи предлагаемой технологией на основе СЗА и имеющейся технологией на основе СВП. Для закрепления уходки, равной 2 п.м., технологией на основе СЗА необходимо затратить 1 сутки, а на технологию СВП – 1,5 суток.

Таблица 6.56. Сравнительные затраты при креплении в породах IV категории устойчивости предлагаемой технологией на основе СЗА и имеющейся технологией на основе СВП

Установка	СЗА		СВП-22 с шагом 1 м	СВП-22 с шагом 0,7 м	Экономия, при шаге установки рам			
	1	2			1 м		0,7 м	
	руб./п.м.	руб./п.м.	руб./п.м.	руб./п.м.	руб./п.м.	%	руб./п.м.	%
Мономатик	48042,9	72026,5	52381,5	74830,7	4338,6	8,28	2804,2	3,75
Бумер	48426,9	72554,6	52381,5	74830,7	3954,6	7,55	2276,3	3,04

Для анализа влияния скорости крепления горных выработок различными технологиями на годовые затраты произведем выделение затрат на материалы, заработную плату, амортизацию и расчет норм на производство данных видов работ.

В таблицах 6.57 и 6.58 представлены расчетные значения затрат по статье «Заработная плата» для технологий с использованием, соответственно, крепи СЗА и СВП.

В таблицах 6.59 и 6.60 представлены расчетные значения затрат по статье «Амортизация» для технологий с использованием, соответственно, крепи СЗА и СВП.

Таблица 6.57. Расчетные значения затрат по статье «Заработная плата» для технологии с использованием крепи СЗА

	Кол-во человек	Норма в смену	Ед. изм.	Время на 1 п.м., час на бригаду	Норма на 1 чел, час	ФОТ на бригаду, руб./час	ФОТ на работу, руб./бриг/п.м	ФОТ сутки, руб./сутки/ на бригаду
набрызгбетон 3 см	2	225,40	м ²	0,61	1,21	203,7	123,6	247,3
СЗА-УКК-Армокрепь Мономатик	2	150,0	комп	1,10	2,20	295,8	325,4	650,8
СЗА-УКК-Армокрепь Бумер	2	150,0	комп	1,10	2,20	295,8	325,4	650,8
набрызгбетон 5 см	2	217,92	м ²	0,63	1,26	203,7	127,9	255,8
сетка	3	90	м ²	1,83	5,50	188,9	346,3	692,6
набрызгбетон 7 см	2	187,35	м ²	0,73	1,46	203,7	148,7	297,5
бурение Мономатик	1	150	шп.	1,1	1,10	194,0	213,4	426,8
бурение Бумер	1	150	шп.	1,1	1,10	194,0	213,4	426,8
Итого								
Мономатик, Бумер				6			1285,4	2570,7

Таблица 6.58. Расчетные значения затрат по статье «Заработная плата» для технологии с использованием СВП

	Кол-во человек	Норма в смену, рам	Время на 1 п.м., час	Норма на 1 чел, час	ФОТ, руб./час	ФОТ на работу, руб./бриг/п.м.	ФОТ сутки, руб./сутки/ на бригаду
СВП	4	0,67	18	72	680,1	12241,7	16322,2

Таблица 6.59. Расчетные значения затрат по статье «Амортизация» для технологии с использованием крепи СЗА

	Кол-во машин	Норма в смену	Ед.изм.	Время на 1 п.м., час	Стоимость машино-часа по амортизации, руб./час	Затраты на машину, руб./п.м.	Затраты в сутки, руб./сутки/2 п. м
набрызгбетон 3 см	1	225,40	м ²	0,61	26,6	16,1	32,3
СЗА-УКК-Армокрепь Мономатик	1	150,0	комп	1,10	269,2	296,1	592,2
СЗА-УКК-Армокрепь Бумер	1	150,0	комп	1,10	509,2	560,1	1120,2
набрызгбетон 5 см	1	217,92	м ²	0,63	26,6	16,7	33,4
сетка	1	90	м ²	1,83	359,3	658,8	1317,6
набрызгбетон 7 см	1	187,35	м ²	0,73	26,6	19,4	38,8
бурение Мономатик	1	150	шп.	1,1	269,2	296,1	593,1
бурение Бумер	1	150	шп.	1,1	509,2	560,1	1120,2
Итого, Мономатик				6		1303,3	2606,5
Бумер				6		1831,2	3662,5

Таблица 6.60. Расчетные значения затрат по статье «Амортизация» для технологии с использованием СВП

	Кол-во машин	Норма в смену, рам	Время на 1 п.м., час	Норма на 1 маш.- час	Стоимость машино-часа, руб./час	Стоимость на работу, руб./маш/п.м.	Стоимость маш в сутки, руб./сутки/1,33 п.м.
СВП	1	0,67	18	18	188,5	3392,4	3392,4

Сравнительный анализ по таблицам 6.56-6.59 показывает, что за счет большей производительности по креплению технологией с применением СЗА по сравнению с технологией СВП возможно снизить затраты по статьям «Заработная плата» и «Амортизация». Результаты расчетов и годовой экономический эффект от применения технологии на основе СЗА представлен в таблице 6.61.

Таблица 6.61. Годовой экономический эффект от применения технологии СЗА

Конструкция крепи	Мономатик	Бумер
СЗА	31063,58	37399,25
СВП	125072,22	125072,22
Экономия в сутки, руб.	15668,1	14612,2
Экономия в год, млн. руб.	3,93	3,67

Выводы по главе 6

1. Применение анкеров СЗА при креплении контуров горно-подготовительных, нарезных и очистных выработок, пройденных по породам II категории устойчивости, взамен анкеров СПА позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 1320,4 руб., что составляет 15,96 %, при применении бурильной установки Бумер – 1166,8 руб., что составляет 13,84 %.

2. Применение анкеров СЗА совместно с набрызгбетоном при креплении контуров капитальных выработок, пройденных по породам II категории устойчивости, взамен анкеров СПА с набрызгбетоном позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 1320,4 руб., что составляет 7,96 %, при применении бурильной установки Бумер – 1166,8 руб., что составляет 6,97 %.

3. Применение анкеров СЗА совместно с армокаркасом при креплении контуров нарезных и очистных выработок, пройденных по породам III категории устойчивости, взамен анкеров СПА с металлической сеткой позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 839,0 руб., что составляет 5,29 %, при применении бурильной установки Бумер – 647,0 руб., что составляет 4,03 %.

4. Применение анкеров СЗА совместно с армокаркасом и набрызгбетоном при креплении контуров горно-подготовительных и капитальных выработок, пройденных по породам III категории устойчивости взамен анкеров СПА с металлической сеткой и набрызгбетоном, позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 2425,3 руб., что составляет 7,77%, при применении бурильной установки Бумер – 2252,5 руб., что составляет 7,17%.

5. Применение анкеров СЗА со специальной опорной плитой для навески сетки, совместно с металлической сеткой и набрызгбетоном при креплении контуров горно-подготовительных и капитальных выработок, пройденных по породам III категории устойчивости, взамен анкеров СПА с металлической сеткой и набрызгбетоном позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 1459,2 руб., что составляет 4,67 %, при применении бурильной установки Бумер – 1286,4 руб., что составляет 4,09 %.

6. Применение анкеров СЗА совместно с армокаркасом и набрызгбетоном при креплении контуров горно-подготовительных и капитальных выработок, пройденных по породам IV категории устойчивости, взамен металлического рамного крепления СВП-22, с шагом установки 1 м, позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 4335,6 руб., что составляет 8,28 %, при применении бурильной установки Бумер – 3954,6 руб., что составляет 7,55 %.

7. Применение покрывающего слоя набрызгбетона, анкеров СЗА со специальной опорной плитой для навески сетки совместно с металлической сеткой и набрызгбетоном при креплении контуров горно-подготовительных и капитальных выработок, пройденных по породам IV и V категории устойчивости, взамен металлического рамного крепления СВП-22, с шагом установки 0,7 м, позволит получить экономию по затратам на 1 п.м. при применении бурильной установки Мономатик – 2804,2 руб., что составляет 3,75%, при применении бурильной установки Бумер – 2276,3 руб., что составляет 3,04 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, представлено решение актуальной научно-методической и практической проблемы обеспечения устойчивости подземных выработок, с использованием анкеров фрикционного вида в условиях высоких статических и динамических нагрузок, 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 укрепления 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

нагрузки и деформирования составляющих элементов крепи в пространстве и во времени при условии соблюдения установленного порядка ее 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 0,6м от контуров выработки. Затем, если произошло частичное или полное обрушение этой зоны, то 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 несколько 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 способности 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, дерева, пластика, 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 ее 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 позволяет 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айнбиндер, И.И. Основные направления развития геотехнологий подземной разработки рудных месторождений на больших глубинах / И.И. Айнбиндер, Ю.П. Галченко, О.В. Овчаренко, П.Г. Пацкевич // Горный журнал. – 2017. – № 11. – С. 65-71.
2. Айнбиндер, И.И. Риск-ориентированный подход к выбору геотехнологий подземной разработки месторождений на больших глубинах / И. И. Айнбиндер, Д. Р. Каплунов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 5–19. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-5-19.
3. Аксенов, В.В. Обзор существующих типов крепи горных выработок и анализ их возможности применения в геовинчестерной технологии / В.В. Аксенов, А.А. Казанцев, А.А. Дортман // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №S3. – С. 130-137.
4. Анкер с фрикционным закреплением. Зубков А.А., Зубков А.А., Неугомонов С.С., Ибрагимова Г.Р., Сахаров Е.М. Патент на полезную модель 220177 u1, 30.08.2023. Заявка № 2023104574 от 27.02.2023.
5. Антонов, Ю.Н. Геомеханическое обоснование устойчивости параллельных взаимовлияющих горизонтальных выработок в рудном массиве: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Ю.Н. Антонов. СПГГИ (ТУ). – СПб. – 2009. – 21 с.
6. Бадтиев, Б.П. Развитие научных основ крепления горных выработок при разработке рудных залежей блочного строения на больших глубинах: автореф. дис. ... докт. техн наук. / Б. П. Бадтиев. ИГД СО РАН. – Новосибирск. – 2009. – 39 с.
7. Беликов, А.В. Обоснование эффективных параметров крепей и охранных конструкций в выемочных штреках с крепкими породами кровли, содержащими слабые контакты: автореф. дис...канд. техн. наук / А.В. Беликов. ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск. – 2009. – 20 с.
8. Белоусов, Е.А. Разработка способов проведения и крепления капитальных выработок в удароопасных зонах месторождений Горной Шории:

автореф. дис...канд. техн. наук / Е.А. Белоусов. Институт горного дела СО РАН. – Новосибирск. – 2006. – 20 с.

9. Боликов, В.Е. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок / В.Е. Боликов, С.А. Константинова. – Екатеринбург: УрО РАН. 2003. – 373 с.

10. Борщ-Компониец, В.И. Управление горным давлением при отработке мощных пологих рудных залежей / В.И. Борщ-Компониец, А.Б. Макаров – М.: Недра. – 1986. – 271 с.

11. Брайт, Ф. Заполнение пустот за рамами штрековой крепи методом Буллфлекс / Ф. Брайт, Ю. Крае // Глюкауф. – 1980. – № 13.– С.12-17.

12. Бронников, Д.М. Разработка руд на больших глубинах / Д.М. Бронников, Н.Ф. Замесов, Г.И. Богданов. – М.: Недра. – 1982. – 292 с.

13. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах / Н.С. Булычев. – М.: Недра. – 1989.

14. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений. 2-е изд. / Н.С. Булычев. – М.: Недра. – 1994.

15. Булычев, Н.С. Проектирование и расчет крепи капитальных горных выработок / Н.С. Булычев, Н.Н. Фотиева, Е.В. Стрельцов. – М.: Недра. – 1986. – 288 с.

16. Владимирская, А.Р. Почвоведение и инженерная геология / А.Р. Владимирская. – СПб.: Лань. – 2016. – 258 с.

17. Волков, П.В. Практический опыт поддержания горных выработок в устойчивом состоянии в условиях шахты "Орловская" / П.В. Волков, С.С. Неугомонов, А.А. Жирнов // В книге: Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Материалы докладов международной конференции: сборник тезисов. – 2019. – С. 139-140.

18. Волков, П.В. Промышленные испытания инновационных покрытий для защиты анкерной крепи / П.В. Волков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков // В книге: Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу.

Материалы докладов международной конференции: сборник тезисов. – 2019. – С. 143-144.

19. Воробьев, Е.В. Опыт крепления сталеполемерной крепи на шахтах «Гуковуголь» / Е.В. Воробьев, А.А. Привалов // Уголь. – 1999. – № 8. – С. 18-20.

20. Вохмин, С.А. Технологии крепления горных выработок глубоких горизонтов Октябрьского месторождения / С.А. Вохмин, Г.С. Курчин, Е.С. Майоров, А.К. Кирсанов, С.С. Костылев // «Известия вузов. Горный журнал». – 2019. – № 7. – С. 45-52.

21. Временная Инструкция по выбору типа и параметров крепления капитальных, подготовительных и очистных выработок в предельно напряженном (или ослабленном) блочном массиве рудников. ИПКОН РАН (дог. 1-3-16). М., 2017.

22. Временная инструкция по расчету и применению анкерной крепи на шахтах Карагандинского бассейна. – Караганда. – 1998. С. 45-49.

23. ВСН 126-90 Ведомственные строительные нормы крепление выработок набрызгбетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ.

24. ВСН 193-81 Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей.

25. Галеман В. Практические примеры механизированного заполнения закрепного пространства / В. Галеман. // Глюкауф. – 1979. – № 24.

26. Гасанова, Н.Ю. Анализ изменчивости деформационных свойств массива горных пород и возможность управления ими при различных геотехнологических процессах / Н.Ю. Гасанова, К.Д. Салямова, А.Д. Меликулов // Вопросы науки и образования. – 2018. – № 10. – С. 35–39.

27. Гелескул, М.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок / М.Н. Гелескул, В.Н. Каретников. – М.: Недра. – 1982. С. 105-123.

28. Гибадуллин, З.Р. 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. – 2013. – № S27. – С. 64-71.

29. Горная энциклопедия. – Изд: Советская энциклопедия. – Москва, 1984-1991 гг. – <http://www.mining-enc.ru/>.

30. ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия». – Введ. 01.01.2014.

31. Гриб, Н.Н. Влияние горно-геологических факторов на устойчивость породных обнажений в подготовительных горных выработках на стадии их проведения / Н.Н. Гриб, А.А. Кирейченков, П.Ю. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. – С. 1-8.

32. Губанов, В.А. Обоснование геомеханических параметров охраны и поддержания подготовительных и очистных выработок при разработке калийных месторождений / В.А. Губанов // Автореф. дис....докт. техн наук. Московский государственный открытый университет. – Москва. – 2006. – 36 с.

33. Демин, В.Ф. Выбор эффективных способов и средств крепления горных выработок / В.Ф. Демин, Ю.Ю. Стефлюк, Т.В. Демина и др. Санкт-Петербург: Горная техника. 2015. – С. 52-57.

34. Демин, В.Ф. Исследование напряженного состояния приконтурного массива вокруг выемочных выработок в зависимости от влияния горно-технологических факторов / В.Ф. Демин, В.В. Яворский, Т.В. Демина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 196-200.

35. Демин, В.Ф. Проблемы разработки технологических схем крепления выработок в условиях угольных шахт / В.Ф. Демин, А.Н. Томилов // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ. – 2017. – Вып. 1. – С. 42-45.

36. Демин, В.Ф. Разработка прогрессивных технологических схем проведения подготовительных выработок с анкерным креплением / В.Ф. Демин // Инновационно-прикладная технологическая разработка. – Караганда, типография «Арко». – 2015. – 60 с.

37. Демин, В.Ф. Управление устойчивостью контуров горных выработок в сложных горнотехнических условиях эксплуатации: Монография // В.Ф. Демин, Т.К. Исабек, В.В. Мельник. – Караганда – 2016. – 283 с.

38. До Куанг Туан Обоснование и выбор параметров крепи горных выработок в сложных горно-геологических условиях угольного месторождения в районе дельты красной реки (Вьетнам) / До Куанг Туан // Автореф. дис....канд. техн. наук. НМСУ «Горный». – СПб. – 2016. – 19 с.

39. Егоров, А. К вопросу возможности применения анкерной крепи в особо сложных горно-геологических условиях, выходящих за пределы действия соответствующих нормативных документов / А. Егоров, Д. Осминин, И. Кондаков // Уголь Кузбасса. – 2018. – № 03.

40. Еременко, А.А. Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железнорудных месторождений / А.А. Еременко, А.И. Федоренко, А.И. Копытов. – Новосибирск: Наука. – 2008. – 236 с.

41. Ермаков, А.Ю. Методика расчета параметров крепления горных выработок большого сечения / А.Ю. Ермаков, П.В. Васильев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №10. – С. 14-22.

42. Журов, В.В. Совершенствование методики расчета параметров крепления выработок с учетом горнотехнологических факторов / В.В. Журов // Дис. ... канд. техн. наук. – КарГТУ. – Караганда. – 2010. – 115 с.

43. Заславский, Ю.З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк / Киев: Техніка. – 1972. – 156 с.

44. Зборщик, М.П. Геомеханика подземной разработки угольных пластов / М.П. Зборщик, М.А. Ильяшов / Донецк: ДонНТУ. – 2006. – Том 1. – 256 с.

45. Златицкая, Ю.А. Разработка методики количественного прогнозирования параметров опасных зон и технологии упрочнения пород в окрестности выработок угольных шахт / Ю.А. Златицкая // Автореф. дис....канд. техн. наук. СибГИУ. – Новокузнецк, 2004. – 20 с.

46. Зотеев, О.В. Научные основы расчета конструктивных параметров систем подземной разработки руд с учетом структуры массива и порядка ведения горных работ / О.В. Зотеев // Дис. ... докт. техн. наук. – Екатеринбург. – 1999. – 261 с.

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

48. Зубков, А.А. 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.

49. Зубков, А.А. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках / А.А. Зубков, В.В. Латкин, С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № S1-1. – С. 106-117.

50. Зубков, А.А. 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.

51. 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 // В книге: 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.

52. Зубков, А.В. Геомеханика и геотехнология / А.В. Зубков / Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2000. – 335 с.

53. Зыков, Д.Б. Геомеханическое обоснование устойчивости выработок в рыхлых рудах / Д.Б. Зыков // Автореф. дис....канд. техн. наук. СПГГИ (ТУ). – СПб. – 2006. – 21 с.

54. Ивановский, Э.С. Эффективные методы проведения горных выработок и разработки месторождений на больших глубинах и борьба с горными ударами (зарубежный опыт) / Э. С. Ивановский / М.: Цветмет-информация. – 1975. – 44 с.

55. Ильясов, Б.Т. 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.

56. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб., Науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. Дела. – 1991. – 125 с.

57. Инструкция по расчету и применению анкерного крепления на угольных шахтах. М-во топлива и энергетики РФ. России. – 2000. – 70 с.

58. Ирресбергер, Х. Успехи техники заполнения закрепного пространства в выемочных штреках / Х. Ирресбергер // Глюкауф. – 1980. – № 14.

59. Казанин, О.И. Обеспечение устойчивости выемочных выработок при подготовке выемочных участков пологих угольных пластов тремя выработками / О.И. Казанин, А.А. Ильинец // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 41-48.

60. Калмыков, В.Н. 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. – 2014. – № S1-1. – С. 86-94.

61. Калмыков, В.Н. 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.

62. Калмыков, В.Н. Применение композитных материалов для крепления горных выработок механизированным способом / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков, Е.И. Пушкарев, П.В. Волков // В сборнике: I международная научно-техническая конференция "Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений", сборник докладов. Валиев Н. Г. (отв. Ред.). – 2012. – С. 72-74.

63. Калмыков, В.Н. 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.

64. Калмыков, В.Н. 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. – 2015. – № S4-2. – С. 63-69.

65. Каретников, В.Н. Крепление капитальных и подготовительных горных выработок / В.Н. Каретников, В.Б. Клейменов, А.Г. Нуждихин // Справочник. М.: Недра. – 1989. – 571 с.

66. Каспарьян, Э.В. 2006: Геомеханика / Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, М.А. Иофис / М.: Высш. школа – 2006. – 503 с

67. Кетиков В. Н., Литвиновский О. Н. Устойчивость незакрепленной горной выработки в слоистом массиве соляных пород / В.Н. Кетиков, О.Н. Литвиновский, В.Н. Кетиков, О.Н. Литвиновский // Совершенствование разработки соляных месторождений: межвуз. Сб. науч. Тр. Пермь. – 1990. – С. 51–54.

68. Компанейцев, А.Ю. Обоснование способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / А.Ю. Компанейцев // Автореф. дис....канд. техн. наук. – Тула. – 2005. – 20 с.

69. Константинова, С. А. Методы прогноза и обеспечения устойчивости капитальных выработок в соляных породах / С.А. Константинова: Дис. ... докт. техн. наук. Пермь. – 1993. – 482 с.

70. Корбашов, М.А. Геомеханическое обоснование способов и средств повышения устойчивости слоевых выработок мощных пологих слоев / М.А. Корбашов // Дис. ... канд. техн. наук. СГИУ. – Новокузнецк. – 1999. – 137 с.

71. Косков, И.Л. Новые материалы и конструкции крепи горных выработок / И.Л. Косков // М.: Недра. – 1987. – 196 с.

72. Костромитинов, К.Н. Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов / К.Н. Костромитинов, В.М. Лысков Иркутск: Байкальский гос. техн. ун-т. – 2015. – 530 с.

73. Кузнецов А. В., Чернышов Ю. Н. К вопросу обеспечения устойчивости подземных горных выработок / А.В. Кузнецов, Ю.Н. Чернышов // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 1. – С. 19–24.

74. Кузьмин Е. В., Узбекова А. Р. Опыт использования геомеханических классификаций в зарубежной практике / Е.В. Кузьмин, А.Р. Узбекова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – №3.

75. Кузьмин, Е.В. О возможных проявлениях горных ударов при сооружении ПИЛ и методах их предотвращения / Е.В. Кузьмин, И.М. Игин, А.В. Минин и др // Радиоактивные отходы. – 2022. – № 4(21). – С. 70-77.

76. Кузьмин, Е.В. Определение параметров геомеханического состояния породного массива на контурах выемочных камер / Е.В. Кузьмин, В.С. Святецкий, А.В. Стародумов, А.М. Иоффе, Д.В. Величко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-parametrov-geomehaničeskogo-sostoyaniya-porodnogo-massiva-na-konturah-vyemochnyh-kamer>.

77. Кузьмин, Е.В. Рейтинговые классификации массивов горных пород: предпосылки создания, развитие и область применения / Е. В. Кузьмин, А. Р. Узбекова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rejtingovye-klassifikatsii-massivov-gornyh-porod-predposylki-sozdaniya-razvitie-i-oblast-primeneniya>.

78. Кучерский, Н.И. Современные технологии при освоении коренных месторождений золота / Н.И. Кучерский / М.: Руда и металлы. – 2007. – 696 с.

79. Лисковец, А.С. Анализ способов крепления, тампонажа закрепного пространства горных выработок и методов расчета взаимодействия крепи с массивом горных пород / А.С Лисковец., В.П. Тациенко // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 1. – С. 27-52.

80. Литвинский, Г.Г. Методика оценки и критерии устойчивости горных выработок / Г.Г. Литвинский, Е.С. Смекалин, В.И. Кладко // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2020. – № 19 (62). – С. 5-14.

81. Литвинский, Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок / Г. Г. Литвинский, Г. И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев // Киев: Техника. – 1999. –216 с.

82. Лобанова, Т. В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном регионе // Автореф. дис....докт. техн наук. ИГД СО РАН. – Новосибирск. – 2009. – 37 с.

83. Лукьянов, В. Г. Технология проведения горно-разведочных выработок: учебник для академического бакалавриата / В.Г. Лукьянов, А.В. Панкратов, В.А. Шмурыгин // М.: Изд-во Юрайт. – 2016. – 549 с.

84. Макаров А. Б. Практическая геомеханика (пособие для горных инженеров): учебное пособие / А.Б. Макаров / М.: Горная книга. – 2006. – 391 с.

85. Максимов, А.П. Горное давление и крепь выработок / Максимов, А. П./ М.: Недра. – 1973. – 255 с.

86. Матвеев, И.Ф. Управление удароопасностью горного массива изменением параметров взрывной отбойки при разработке железорудных месторождений Сибири / И. Ф. Матвеев // Автореф. дис....докт. техн наук. ГУ «КузГТУ». – Новокузнецк. – 2004. – 35 с.

87. Маттен, В. Заполнение закрепного пространства штреков природным ангидритом // В. Маттен, И. Зеегер, Х. Цильэссен // Глюкауф. – 1980. – № 14. – С. 15-20.

88. Меликулов, А.Д. Факторы обеспечения длительной устойчивости и безопасности подземных горных выработок шахт и рудников в условиях проявления

тектонических процессов / А.Д. Меликулов, Т.Г. Акбаров, А.С. Исмаилов, Г.Х. Бакиров, Ш.Р. Мухитдинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – С.7-17.

89. Мельников, Н. И. Анкерная крепь / Мельников, Н. И./ М.: Недра. – 1980. – 352 с.

90. Методика расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. – СПб.: ВНИМИ. – 2004. – 84 с.

91. Мисников, В.А. О формах и особенностях проявления горного давления в окрестности незакрепленных одиночных выработок Солигорских калийных рудников / Мисников В.А. // Совершенствование разработки калийных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. Пермь. – 1987. – С. 48–54.

92. Морозов, И.А. Оценка устойчивости горных выработок в соляных породах Гремячинского месторождения / И.А. Морозов // Дисс. канд. техн. наук. – Пермь. – 2022. – 153 с.

93. Мусиенко С. П. Некоторые аспекты применения тампонажа при возведении геокомпозитных охранных систем горных выработок / С.П. Мусиенко, С.А. Кучеренко, С.Д. Гребенюк // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – 2009. – Вып. 83. – С. 122-130.

94. Нестерова, С.Ю. Горная крепь подземных выработок шахт и рудников / С. Ю. Нестерова // уч. пособие Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2018. – 55 с.

95. Неугомонов, С. С. 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.

96. Неугомонов, С.С. Совершенствование технологии очистной выемки при разработке месторождений камерными системами с твердеющей закладкой / С.С. Неугомонов // Дис...канд. техн. наук. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск. – 2009.

97. Неугомонов, С.С. 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.

98. 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.

99. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» : Приказ Ростехнадзора от 13.11.2020 г. № 439. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140211> (дата обращения: 30.03.2024).

100. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» : Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 г. № 505. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573156117> (дата обращения: 16.01.2024).

101. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» : Приказ Ростехнадзора от 19.11.2020 г. № 448. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264130> (дата обращения: 14.01.2024).

102. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» : Приказ Ростехнадзора от 19.11.2020 г. № 448. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264130> (дата обращения: 14.01.2024).

103. Певзнер, М.Е. Геомеханика : учебник для вузов / М.Е. Певзнер, М.А. Иофис, В.Н. Попов / М. : Московский государственный горный университет. – 2008. – 437 с.

104. Покровский, Н. М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. Часть 1. / Н. М. Покровский / М.: Недра. – 1977. – 400 с.

105. Польш, В.Г. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в удароопасных условиях / В. Г. Польш // Дисс...канд. техн. наук. – Екатеринбург. – 2003. – 130 с.

106. Попов, М.Г. Прогноз устойчивости горизонтальных выработок в зонах ослаблений рудного массива (на примере яковлевского рудника) / М.Г. Попов // Автореф. дис...канд. техн. наук. СПГГИ (ТУ). – СПб, 2010. – 21 с.

107. Протоdjяконов, М. М. Давление горных пород и рудничное крепление / М. М. Протоdjяконов –М.: Гостехиздат. – 1931. –153 с.

108. Рекомендации по креплению и поддержанию разведочных, подготовительных, нарезных и очистных выработок на рудниках «Октябрьский», «Таймырский», «Комсомольский» и «Заполярный» ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». – Норильск. – 2014.

109. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи. – М. Стройтехиздат. – 1983 г.

110. Руппенейт, К.В. Введение в механику горных пород / К.В. Руппенейт, Ю.М. Либерман / М.: Госгортехиздат. – 1960. – 356 с.

111. 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.

112. 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.

113. Сидсмен Р. Обзор анкерного крепления на шахтах Караганды / Р. Сидсмен // АрселорМиттал. АС-R03. – 2010. – 35 с.

114. Слесарев В. Д. Механика горных пород и рудничное крепление / В.Д. Слесарев / М.: Углетехиздат. – 1948. – 303 с.

115. Смагулова, А. М. Создание технологии крепления горных выработок на базе аналитического моделирования напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горных пород / Смагулова А. М./ Дис...канд. тех. наук: шифр 25.00.22. – Караганда: КарГТУ. – 2010. – 114 с.

116. Старовойтов, Ю.В. Установление рациональных параметров механизированных крепей для сложноструктурных трудноуправляемых кровель: на примере ПО "Беларуськалий"» / Ю.В. Старовойтов // Дисс. канд. техн. наук. – Солигорск. – 2002. – 163 с.

117. Стрельцов, Е.В. Совершенствовать крепления горных выработок / Е. В. Стрельцов, М. А. Сухиненко // Шахтное строительство. – 1985. – №1. – С. 5-14.

118. Тапсиев, А.П. А. Об основных критериях выбора типа крепи горизонтальной выработки в зоне влияния очистных работ рудника “Заполярный” / А.П. Тапсиев, В.А. Усков // Технология добычи полезных ископаемых ФТПРПИ. – 2014. – № 4. – С.78-88.

119. Терентьев, Б.Д. Геомеханическое обоснование подземных горных работ: очистные горные работы / Б.Д. Терентьев / М.: МИСиС. – 2016. – 258 с.

120. Технология крепления горных выработок полимерными анкерами // – М.: НПЦ «Технология и оборудование». – 2005. – 3 с.

121. Ткачев, В.А. Обоснование эффективных способов крепления и поддержания подготовительных выработок с учетом взаимовлияния с очистными забоями / В.А. Ткачев // Автореф. дисс.докт. техн наук. – Новочеркасск. – 2000. – 36 с.

122. Томилов, А. Н. Обоснование параметров проведения горных выработок с использованием технологии анкерного крепления / А.Н. Томилов // Дисс...докт. фил. (PhD). – Республика Казахстан. – Караганда. – 2020. – 141 с.

123. Туртыгина, Н. А. Совершенствование качества горных работ, в связи с конвергенцией подземных горных выработок / Н.А. Туртыгина, Р.Э. Бабаев, Н.А. Волков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 1. – С. 50-57.

124. Туртыгина, Н. А., Охрименко А. В., Шубрик А. С., Карачок С. А. Методика выбора типа и параметров крепи горных выработок для условий предельно напряженного блочного массива / Н.А. Туртыгина, А.В. Охрименко, А.С. Шубрик, С.А. Карачок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 4. – С. 63–69.

125. Уисимбаева, С.З. Расчет напряжений на сопряжениях выработок методом граничных элементов / С. З. Уисимбаева / Автореф. дис...канд. техн. наук. – Алма-Ата. – 1996. – 22 с.

126. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ. – 1986. – 222 с.

127. Федоренко, А.И. Разработка и обоснование технологии взрывного закрепления горных выработок на удароопасных железорудных месторождениях / А.И. Федоренко // Автореф. дис...докт. техн. наук. – КузГТУ. – Кемерово. – 2010. – 43 с.

128. Филиппов, В.Н. Повышение эффективности проведения и крепления подготовительных и нарезных выработок в зонах тектонических нарушений на железорудных месторождениях / В. Н. Филиппов // Автореф. дис...канд. техн. наук. – ИГД СО РАН. – Новосибирск. – 2011. – 23 с.

129. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко / – М.: Недра. – 1976. – 272 с.

130. Хвещук, Н. М. Разработка способов и средств повышения устойчивости подготовительных выработок по мощным пологим и наклонным пластам: на шахтах центрального и восточного районов Кузбасса / Н. М. Хвещук // Дисс. канд. техн. наук. – Кемерово, 2001. – 167 с.

131. Хлебников П. В. Обоснование рациональных параметров рамно-анкерной крепи подземных горных выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ (на примере шахты «Соколовская», АО «ССГПО», Республика Казахстан) / П.В. Хлебников // Дисс. канд. техн. наук. УГГУ. – Екатеринбург. – 2019. – 172 с.

132. Цимбаревич, П. М. Механика горных пород / П. М. Цимбаревич / – М.: Углетехиздат. – 1948. – 247 с.
133. Цыганков, Д.А. Способ выбора конструкции крепи подземной горной выработки / Д.А. Цыганков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 10 (часть 1). – С. 184-188.
134. Шахтная сетка. Зубков А. А., Зубков А. А., Кузьяев Е. А., Кутлубаев И. М., Неугомонов С.С., Туркин И. С., Шутов С. А. Патент на изобретение 2802930 с1, 05.09.2023. Заявка № 2023102569 от 03.02.2023.
135. Шеин, Ю.Г. Разработка теоретических основ динамического взаимодействия механизированной крепи с породами кровли / Ю.Г. Шеин // Автореф. дис....докт. техн. наук. – Москва. – 2003. – 46 с.
136. Широков, А. П. Анкерная крепь в горнодобывающей промышленности / А.П. Широков, // Кемерово. – 1973.
137. Широков, А.П. Расчет анкерной крепи для различных условий применения / А.П. Широков, В.А. Лидер / Недра. – 1976. – 208 с.
138. Штумпф Г. Г., Стрыгин Б. И. Исследование совместной работы анкерной и рамной крепи в горных выработках / Штумпф Г. Г., Стрыгин Б. И. / Г. Г. Штумпф, Б. И. Стрыгин // Уголь. – 1975. – № 8. – С. 32-34.
139. Шуплецов Ю. П. Прочность и деформируемость массивов скальных пород около выработанных пространств / Ю. П. Шуплецов // Автореф. дис....докт. техн наук. – ИГД СО РАН. – Новосибирск. – 1998. – 40 с.
140. Barton, N., Grimstad, E. Tunnel and cavern support selection in Norway, based on rock mass classification with the Q-system. – Publication No. 23. – Norwegian Tunnelling Society; – 2014. – pp. 45–77.
141. Barton, N., Lien R, Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics –1974. – 6(4):189-239.
142. Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley; – 1989.

143. Cai, M., Kaiser, P.K., 2018. Rock Support Reference Book. In: Rockburst Phenomenon and Support Characteristics, vol. 1. MIRARCO Mining Innovation, Sudbury, Canada.
144. Darlington, B., Rataj, M., Balog, G., Barnett, D., 2018. Development of the MDX bolt and in-situ dynamic testing at Telfer gold mine. In: Li, C.C., Li, X., Zhang, Z.X. (Eds.), Rock Dynamics and Applications 3: Proceedings of the 3rd International Conference on Rock Dynamics and Applications (RocDyn-3). CRC Press, pp. 403-408.
145. Diederichs, M.S., 2003. Manuel Rocha Medal Recipient Rock fracture and collapse under low confinement conditions. Rock Mech. Rock Eng. 36.
146. Duvall, W.I., Stephenson, D.E., 1965. Seismic energy available from rock bursts and underground explosions. Society of Mining Engineers.
147. 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. // В сборнике: IOP conference series: earth and environmental science. 2019. p. 022108.
148. Feng, X.T., Chen, B.R., Ming, H.J., Wu, S.Y., Xiao, Y.X., Feng, G.G., Zhou, H., Qiu, S.L., 2012. Evolution law and mechanism of rockbursts in deep tunnels: immediate rockburst. Chin. J. Rock Mech. Eng. 31 (3), 433-444 (in Chinese).
149. Griffith, A.A. The theory of rupture // Proc. Ict. Int. Congr. Appl. Mech. – Delft, 1924, P. 55-63.
150. Harrison, P., Hudson, J. Engineering rock mechanics. Part 2: illustrative worked examples. Pergamon; 2000.
151. Hoek, E. Model to demonstrate how bolts work. In: Practical rock engineering; 2007.
152. Hoek, E. Numerical modelling for shallow tunnels in weak rock. 2015.
153. Hoek, E., Brown, E.T. Underground excavations in rock. London: Institution of Mining and Metallurgy; 1980.
154. Kaiser, P.K, Tannant, D.D, McCreath, D.R. Canadian rock burst support handbook.
155. Knox, G., Berghorst, A., 2019. Dynamic testing: determining the residual dynamic capacity of an axially strained tendon. In: Hadjigeorgiou, J., Hudyma, M. (Eds.),

Ground Support 2019: Proceedings of the 9th International Symposium on Ground Support in Mining and Underground Construction. Australian Center for Geomechanics, Perth, Australia, pp. 231-242.

156. Li, C.C. Design principles of rock support for underground excavations. In: Eurock 2012. Stockholm, Sweden; 2012.

157. Li, C.C. Evaluation of the state of stress in the vicinity of a mine drift through core logging. In: Proceedings of the 4th Asian rock mechanics symposium. New Jersey, USA: World Scientific; 2006a.

158. Li, C.C. Rock support design based on the concept of pressure arch. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 2006b;43(7):1083e90.

159. Li, C.C., 2017b. Principles of rock bolting design. J. Rock Mech. Geotech. Eng. 9 (3), 396-414.

160. Li, C.C., 2017c. Energy-absorbing rockbolts. In: Feng, X.T. (Ed.), Rock Mechanics and Engineering. Excavation, Support and Monitoring, vol. 4. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 311-336.

161. Li, C.C., 2019. Rockburst conditions and rockburst support. Chin. J. Rock Mech. Eng. 38 (4), 674-682 (in Chinese).

162. Li, C.C., Doucet, C., 2012. Performance of D-bolts under dynamic loading conditions. Rock Mech. Rock Eng. 45 (2), 193-204.

163. Louchnikov, V., Sandy, M.P., Watson, O., Orunesu, M., Eremenko, V., 2014. An overview of surface rock support for deformable ground conditions. In: 12th AusIMM Underground Operators' Conference. Adelaide, Australia.

164. Malmgren, L., Swedberg, E., Krekula, H., Woldemedhin, B., 2014. Ground support at LKAB's underground mines subjected to dynamic loads. In: Workshop on Ground Support Subjected to Dynamic Loading. Sudbury, Canada.

165. Potvin, Y. (Eds.), Deep Mining 2014: Proceedings of the 7th International Conference on Deep and High Stress Mining. Australian Center for Geomechanics, Sudbury, Canada, pp. 139-150.

166. Reza Masoudi ↑, Mostafa Sharifzadeh Reinforcement selection for deep and high-stress tunnels at preliminary design stages using ground demand and support capacity approach // International Journal of Mining Science and Technology 28 (2018)

167. Tarasov, B.G., Stacey, T.R., 2017. Features of the energy balance and fragmentation mechanisms at spontaneous failure of Class I and Class II rocks. Rock Mech. Rock Eng. 50 (10).

168. Varden, R., Lachenicht, R., Player, J., Thompson, A., Villaescusa, E., 2008. Development and implementation of the Garford dynamic bolt at the Kanowna Belle mine. In: 10th Underground Operators' Conference. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Launceston, Australia.

169. Wang S., Hagan P.C., Cao C. Advances in rock-support and geotechnical Engineering. – Tsinghua University Press Ltd., China Published by Elsevier Inc., Amsterdam – Boston, 2016. 410 pp

170. Zhang C, Feng XT, Zhou H, Qiu S, Wu W. Case histories of four extremely intense rockbursts in deep tunnels. Rock Mechanics and Rock Engineering 2012;45(3):275e88

Приложение А



ЖАУАПКЕРШЛІГІ
ШЕКТЕУЛІ
СЕРІКТЕСТІК
«Expert PRO»

Ғ02Р9С2, Қазақстан Республикасы,
ШҚО, Өскемен қаласы,
Токтаров көш, 51-27
«BAKHUT TOWER» БҰ

ТОВАРИЩЕСТВО С
ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«Expert PRO»

Ғ02Р9С2, Республика Казахстан,
ВКО, г. Усть-Каменогорск,
ул. Токтарова, 51-27
БЦ «BAKHUT TOWER»

телефакс 8 (7232) 60-62-72;
БСН/БИН 100240017943
Email: office@expertpro.kz
Web: www.expertpro.kz

Исход. № 01-08/64-01
" 15 " 03 2014 г.

В Диссертационный совет 24.2.324.06
председателю:
Гавришеву Сергею Евгеньевичу,
зав. кафедрой разработки
месторождений полезных ископаемых
455000 Россия, г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38

Акт о внедрении

Настоящим подтверждаем, что при активном и непосредственном участии Неугомонова Сергея Сергеевича с 2016 г в научно-изыскательских и опытно-промышленных работах ТОО «Expert PRO» на рудниках ТОО «Востокцветмет» (Восточно-Казахстанская область, г. Усть-Каменогорск) в настоящее время внедрены и успешно применяются разработанные технические и методические решения по технологии обеспечения устойчивости горных выработок в сложных горногеологических и горнотехнических условиях с использованием конструкций комбинированной крепи с фрикционными анкерами типа СЗА. Результаты работ отражены в соответствующей локальной нормативно-технической документации и являются основанием для оценки состояния массива и выбора параметров и конструкции крепей. Использование технологии позволило повысить уровень безопасности горных работ, технологичности, механизации, что в общем итоге оказывает достаточно существенный экономический эффект для горных предприятий.

Разработанные методические принципы позволяют формировать научно-обоснованные и инженерные способы обеспечения устойчивости на других предприятиях Республики Казахстан, и в настоящее время внедряются под научным сопровождением ТОО «Expert PRO» на КГМК «Казцинк», ООО «Нордголд» и т.д.

Директор



Д. А. Шокарев

Приложение Б

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ
TK 269 «ГОРНОЕ ДЕЛО»

650000, г. Кемерово, пр-т Советский 63-а, оф. 254 тел. (3842) 44-16-28
e-mail: tk269@mail.ru

Исх. № 74 от 31.05.2024 г.

На _____ от _____

В Диссертационный совет 24.2.324.06
председателю:
Гавришеву Сергею Евгеньевичу,
зав. кафедрой разработки месторождений
полезных ископаемых МГГУ им. Г.И. Носова
455000 Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

СПРАВКА

Неугомонов Сергей Сергеевич является автором проектов изменения №1 и №2 к межгосударственному стандарту ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия», разработанных, соответственно в 2015 и 2020 гг, в инициативном порядке согласно требований технического регламента Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».

Указанные изменения были разработаны с целью обеспечения безопасных условий эксплуатации горных выработок при их использовании, а также приведения содержания стандарта к современному уровню развития науки, техники и технологии в части использования выпускаемой продукции согласно разделу 5 ГОСТ 1.2-2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены».

Актуальность разработки изменений в межгосударственный стандарт была вызвана тем, что в действующем межгосударственном стандарте ГОСТ 31559-2012 не регламентированы технические требования к фрикционным анкерам, получившие широкое применение в последнее время на горно-добывающих предприятиях.

Применение стандарта с внесенным изменением № 1 позволило установить единые требования к техническим характеристикам новой анкерной крепи, обеспечить безопасные условия эксплуатации горных выработок при их использовании, осуществлять контроль качества при изготовлении и эксплуатации новой анкерной крепи.

Применение изменений № 2 дополнило стандарт новыми определениями элементов крепи, разработанной соответствующей классификацией деталей

анкерной крепи. Определены технические требования для основных типов подхватов и опорных плит с учетом условий функционирования и схем нагружения.

Все числовые величины регламентирующих характеристик, принятые в стандарте получены на основе соответствующих обоснований по результатам исследований, проведенных под руководством Неугомонова Сергея Сергеевича.

Результаты исследований, также были отражены в разработанных с участием Неугомонова С.С. в инициативном порядке изменениях № 1 ГОСТ Р 54773-2011 «Крепи анкерные. Методы испытаний анкером», что при применении стандарта обеспечило использовать методику контроля геометрических и силовых параметров фрикционных типов анкерной крепи, подхватов и опорных шайб.

Председатель, к.т.н.

Ю.В. Малахов



Приложение В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

RU 2 802 930 C1

(51) МПК

[B21F 27/02 \(2006.01\)](#)[E02B 3/12 \(2006.01\)](#)[E02D 17/20 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[B21F 27/02 \(2023.05\)](#)[E02B 3/12 \(2023.05\)](#)[E02D 17/20 \(2023.05\)](#)

Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.09.2023)
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 04.02.2024 по 03.02.2025.
 При уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 04.02.2025 по 03.08.2025 размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: [2023102569](#), 03.02.2023(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.02.2023Дата регистрации:
05.09.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.02.2023

(45) Опубликовано: [05.09.2023](#) Бюл. № [25](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2198759 C1, 20.02.2003. RU 210184 U1, 31.03.2022. EP 1538265 A1, 08.06.2005. US 1009670 A1, 21.11.1911.

(72) Автор(ы):

Зубков Антон Анатольевич (RU),
 Зубков Артем Анатольевич (RU),
 Кузьяев Евгений Анатольевич (RU),
 Кутлубаев Ильдар Мухаметович (RU),
 Неугомонов Сергей Сергеевич (RU),
 Туркин Иван Сергеевич (RU),
 Шутов Степан Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Зубков Антон Анатольевич (RU)

Формула изобретения

1. Шахтная сетка для укрепления поверхности выработок и предотвращения обвалов пород, выполненная из последовательно взаимосвязанных по ширине продольных звеньев из проволоки с периодически расположенными петлями незамкнутой формы с длиной у открытого основания меньше длины противоположного основания, при этом промежутки между петлями выполнены в виде поперечных выступов над петлями с высотой не менее двух диаметров проволоки для обхвата петель одного звена петлями последующего звена у основания выступов, отличающаяся тем, что петли выполнены трапецидальной формы с углом наклона боковых сторон к основанию от 78° до 85°, предпочтительно 81°, и разностью оснований трапеций больше четырех диаметров проволоки.

2. Шахтная сетка по п. 1, отличающаяся тем, что боковые стороны петель выполнены профилированными.

3. Шахтная сетка по п. 2, отличающаяся тем, что боковые стороны петель выполнены профилированными в продольной плоскости звеньев.

4. Шахтная сетка по п. 2, отличающаяся тем, что боковые стороны петель выполнены профилированными в поперечной плоскости звеньев.

5. Шахтная сетка по п. 2, отличающаяся тем, что боковые стороны петель выполнены профилированными в поперечной и продольной плоскости звеньев.

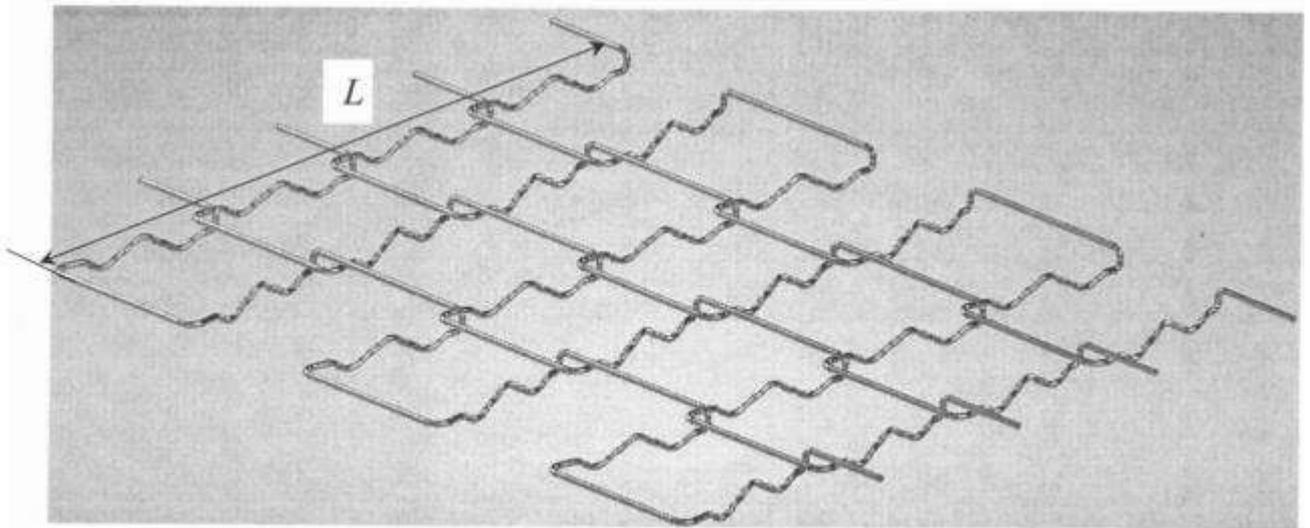
6. Шахтная сетка по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что она выполнена из круглой проволоки.

7. Шахтная сетка по п. 1 или 2, отличающаяся тем, что она выполнена из проволоки с эллиптическим сечением, при этом большая ось эллипса расположена в плоскости продольных звеньев.

8. Шахтная сетка по п. 4 или 5, отличающаяся тем, что боковые стороны петель выполнены профилированными с образованием гребней от двух до четырех толщин проволоки, предпочтительно трех.

9. Шахтная сетка по п. 1, отличающаяся тем, что поверхность проволоки покрыта защитной пленкой, предпочтительно полимерной пленкой.

10. Шахтная сетка по п. 1, отличающаяся тем, что радиусы перехода от боковых сторон к основанию трапеций выполнены равными от полутора до трех диаметров проволоки, предпочтительно двум.



Черт.12

Приложение Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU

220 177

(51) МПК

E21D 21/00 (2006.01)

(52) СПК

E21D 21/00 (2023.05)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.02.2024)
 Пошлина: учтена за 2 год с 28.02.2024 по 27.02.2025. Установленный срок для уплаты
 пошлины за 3 год: с 28.02.2024 по 27.02.2025. При уплате пошлины за 3 год в
 дополнительный 6-месячный срок с 28.02.2025 по 27.08.2025 размер пошлины
 увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: **2023104574, 27.02.2023**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.02.2023Дата регистрации: **30.08.2023**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **27.02.2023**(45) Опубликовано: **30.08.2023** Бюл. № **25**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 172870 U1, 28.07.2017. RU**
2009328 C1, 15.03.1994. SU 1761960 A1,
15.09.1992. DE 8616423 U1, 09.10.1986.

(72)

Автор(ы):

Зубков Антон Анатольевич (RU),
Зубков Артем Анатольевич (RU),
Неугомонов Сергей Сергеевич (RU),
Ибрагимова Гульназ Рафкатовна (RU),
Сахаров Евгений Михайлович (RU)

(73)

Патентообладатель(и):

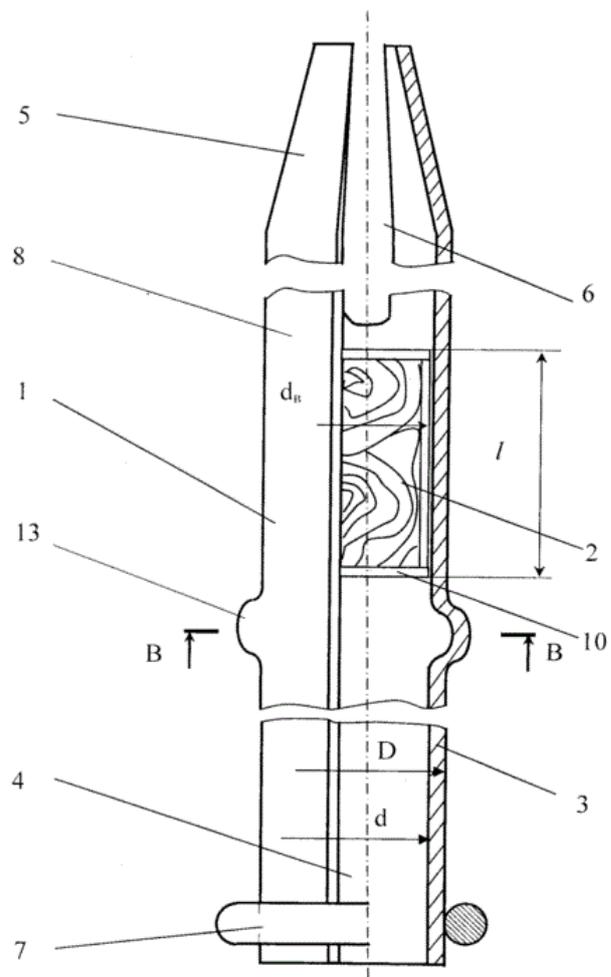
Зубков Антон Анатольевич (RU)

Формула полезной модели

1. Анкер с фрикционным креплением, включающий стальной стержень, выполненный в виде полого цилиндра с непрерывной продольной прорезью по всей длине, внешним диаметром, превышающим диаметр шпура, с концом передней части конической формы, с продольной прорезью в передней части, упором в задней части с диаметром, превышающим внешний диаметр цилиндра, вставкой, установленной в полости цилиндра, отличающийся тем, что вставка установлена в передней части, выполнена из материала с модулем упругости меньше стали и диаметром, обеспечивающим посадку с зазором по внутренней поверхности полого цилиндра, а стальной стержень в передней части, за местом установки вставки, имеет участок с некруглым профилем с минимальным размером в свете меньше диаметра вставки по номинальному размеру, причем участок некруглым профилем выполнен эллиптической формы.

2. Анкер с фрикционным креплением по п. 1, отличающийся тем, что вставка выполнена из дерева, покрытого по всей поверхности пластиком.

3. Анкер с фрикционным креплением по пп. 1, 2, отличающийся тем, что вставка выполнена из пластиковой трубки.



Фиг.3