

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.
Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)**

На правах рукописи



САХАРОВ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК ПРИ
ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СОЛЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

**Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель
профессор, доктор технических наук
Рыльникова Марина Владимировна**

Магнитогорск - 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	11
1.1 Анализ и обобщение опыта крепления горных выработок анкерной крепью ..	11
1.2 Особенности конструкций, методов выбора и расчета параметров анкерной крепи	18
1.3 Требования к возведению анкерной крепи в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях	33
1.4 Способы оценки состояния анкерной крепи, методики оценки и анализа результатов испытаний	37
1.5 Цель, задачи и методы исследования	45
2 РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛЕЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ	48
2.1 Систематизация видов, конструкций, условий применения и основные параметры анкерной крепи, определяющие устойчивость горных выработок	48
2.2 Факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи	56
2.3 Специфика горно-геологических и горнотехнических условий разработки Гремячинского месторождения, определяющая выбор типа крепи	62
2.4 Систематизация условий сочетания низкопрочных соляных и прочных ангидрит-доломитовых пород с учетом характеристики структурной нарушенности массива	69
Выводы по 2 главе	76
3 ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ, ПАРАМЕТРОВ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ	79
3.1 Факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи	79
3.2 Обоснование условий и параметров совершенствования конструкции и результаты испытания инновационных крепей в слоистых соляных породах	83
3.3 Анализ результатов испытаний как основа выбора параметров крепи	89
3.4 Разработка алгоритма моделирования работы усовершенствованного самозакрепляющегося анкера для расчета его параметров в слоистой кровле выработок	95

Выводы по 3 главе.....	114
4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГРЕМЯЧИНСКОГО РУДНИКА, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕКОМЕНДАЦИЙ	116
4.1 Разработка технологических рекомендаций по совершенствованию вида, конструкции и технологии анкерного крепления	116
4.2 Выбор типа крепи горных выработок с учетом особенностей геологического строения и геомеханического состояния массива горных пород Гремячинского месторождения	121
4.3 Обоснование параметров анкеров фрикционного типа в типовых условиях строения кровли подземных выработок	125
4.4 Разработка типовых паспортов крепления горных выработок инновационными анкерами фрикционного типа в динамике развития горных работ	131
4.5 Техничко-экономическая оценка внедрения технологических рекомендаций	134
Выводы по 4 главе.....	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	142
Приложение 1. Типовые паспорта крепления и управления кровлей подготовительных выработок для различных горно-геологических условий Гремячинского месторождения.....	153
Приложение 2. Акт по результатам опытно-промышленных испытаний модифицированных конструкций анкерной крепи СЗА производства ООО «УралЭнергоРесурс».....	157

ВВЕДЕНИЕ

Сохраняющаяся мировая тенденция увеличения глубины разработки месторождений полезных ископаемых с ухудшением горно-геологических условий их эксплуатации зачастую обуславливает проявление горного давления в разнообразных катастрофических формах, в том числе, горных ударов, техногенных землетрясений, массовых обрушений и выбросов пород и газов, что, в свою очередь, приводит к значительному экономическому и социальному ущербу. Вовлечение в отработку участков со сложными горно-геологическими условиями и проявлением опасных динамических воздействий горного давления ведет к необходимости постоянного совершенствования методов и способов поддержания горных выработок, улучшения качества материалов и эксплуатационной надежности конструкций применяемых крепей. Снижение риска возникновения аварийных ситуаций возможно на основе внедрения гибкой системы геомеханического контроля несущей способности и оценки состояния крепи подземных горных выработок, учитывающей локальные изменения условий разработки, и позволяющей принимать оптимальные инженерные решения.

В России и за рубежом для крепления подготовительных горных выработок широко применяются различные виды металлической анкерной крепи, обладающей относительно небольшим сроком службы в условиях воздействия агрессивных сред, что является одним из сдерживающих факторов, ограничивающих область ее применения.

Вопрос обеспечения устойчивости горных выработок, пройденных в различных условиях освоения недр, является одним из основных в горнодобывающей отрасли. Важнейшим фактором, влияющим на состояние подземных выработок, является недостаточная несущая способность анкеров, снижение которой происходит в результате естественных процессов деформирования, к потере прочности и коррозии элементов крепи.

Несмотря на широкое применение анкерной крепи для поддержания подземных горных выработок при добыче твердых полезных ископаемых,

масштабных исследований по оценке влияния времени и условий эксплуатации на несущую способность анкеров до настоящего времени не проводилось. На данный момент недостаточно изучены задачи изменения силового баланса системы «анкерная крепь - вмещающие породы» во времени при использовании горных выработок в различных условиях. Это означает, что исследования, которые направлены на создание новых технологических решений, обеспечивающих безопасное и эффективное использование горных выработок с использованием анкерной крепи, должны учитывать конструкцию, механизм нагружения анкерных и усовершенствованных крепей, а также устанавливать закономерности формирования зон равновесного состояния горных пород и концентрации напряжений вокруг выработок во времени с учетом структуры вмещающих пород. Эти задачи являются насущными для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации подземных горных выработок.

Для теории и практики безопасного освоения георесурсов имеет важное значение изучение процессов деформирования и разрушения подземных конструкций, направленное на обоснование эффективных технологических решений, которые обеспечат сохранение ресурса работоспособности анкерной крепи горных выработок в условиях высокой относительной влажности воздуха, агрессивных сред и газоносности породного массива. Также необходимо обеспечить безопасные условия ведения горных работ при подземной разработке соляных калийных месторождений, что связано с проблемой предотвращения прорыва подземных вод в горные выработки. Для этих целей также важна разработка методов контроля напряженного состояния массива горных пород и состояния крепи.

Цель работы – обоснование параметров анкерных крепей на основе установления закономерностей деформирования системы «крепь-массив» во времени в слоистых массивах пород соляных месторождений для обеспечения эксплуатационной надежности крепи и устойчивости горных выработок.

Идея работы – установление и использование закономерностей геологического строения слоистого разнопрочного и разномодульного массива

вмещающих пород глубокозалегающего месторождения калийных солей при усовершенствовании конструкции и обосновании параметров анкерных крепей фрикционного типа путем ввода на отдельных участках, расположенных в соляных породах, в стержень анкера вставок с иными деформационными свойствами для повышения сил трения и несущей способности анкера.

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

- анализ и обобщение опыта крепления горных выработок анкерной крепью;
- исследование требований к возведению анкерной крепи в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях и оценка влияния горно-геологических и горнотехнических условий на состояние и несущую способность крепи;

- усовершенствование и обоснование рациональной конструкции и методики выбора технологических параметров усовершенствованной анкерной крепи;

- разработка технологических рекомендаций по совершенствованию технологии возведения, эксплуатации и параметров анкерной и усовершенствованной крепи и оценке их экономической эффективности.

Объект исследований: устойчивость горных выработок и совершенствование технологии ее обеспечения при освоении глубокозалегающих месторождений калийных солей на примере Гремячинского месторождения.

Предмет исследования: условия и параметры анкерного крепления горных пород для обеспечения устойчивости подземных выработок.

Методология и методы исследования. Полученные результаты диссертационной работы подтверждены выполненным анализом источников научно-технической информации по тематике исследования, проведенными лабораторными экспериментами и опытно-промышленными испытаниями в шахтных условиях, использованием математического моделирования геомеханического состояния массива горных пород, теории вероятностей, проведением корреляционного и регрессионного анализов, а также выполнением технико-экономических расчетов.

Теоретическая и методическая база исследования сформирована на основе авторитетных мнений и экспертных заключений, отраженных в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях, отраслевых нормативных документах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Положения, выносимые на защиту. Защите подлежат следующие результаты, полученные в рамках научного исследования:

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

2. В массивах, представленных перемежающимися слоями низкопрочных пород сильвинита и галита и более прочными и жесткими ангидритами и доломитами, замок и усиленные элементы анкера должны располагаться в ангидрит-доломитовых породах, а вставки с повышенными деформационными характеристиками – в соляных породах.

3. При присутствии в кровле выработки слоя сильвинита или прослоек галита, имеющих меньшую прочность и упругость, но более высокие значения относительных поперечных деформаций, по сравнению с ангидритовыми и доломитовыми породами, для повышения радиальных напряжений в горизонтальном сечении необходимо в усовершенствованную анкерную крепь на базе СЗА включать вставки из дерева или полимеров, перераспределяющие нагрузки по длине анкера, и при этом следует более жестко контролировать длину шпура под анкер и исключать перебур и расширение шпура в призабойной части для надежной установки замковой части анкера.

4. Несущая способность анкеров фрикционного типа с вставками с различающимися деформационными характеристиками в условиях разработки

соляных глубокозалегающих месторождений во время эксплуатации выработок возрастает в результате действия реологических процессов. Параметры паспорта крепления при возведении анкерной крепи с усиленными вставками в слоистом разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих пород рассчитываются с учетом особенностей деформирования элементов анкера в системе «анкер-слоистый массив соляных пород».

Научную новизну работы составляют:

1. Сравнительная оценка условий закрепления самозакрепляющихся (СЗА) и клинораспорных (КРА) анкеров в прочных и жестких ангидритах и доломитовых породах соляных месторождений выявила повышенную коррозионную устойчивость анкеров СЗА за счет надежного закрепления в момент установки и длительной стойкости в агрессивных средах пленочного полимерного покрытия по всей площади анкера, а также более высокую несущую способность анкеров СЗА за счет дополнительного расклинивающего эффекта при упругом восстановлении анкера после введения в шпур.

2. Механизм обеспечения устойчивости горных выработок в слоистой толще разнопрочных и разномодульных пород кровли, заключающийся в перераспределении нагрузок между элементами анкерной крепи с учетом повышения усилия закрепления анкера в замке в более прочных и жестких породах и увеличении во времени в соляных породах радиальных напряжений в поперечном сечении, что приводит к росту сил трения и несущей способности крепи.

3. Тенденция повышения несущей способности крепи. В ходе опытно-промышленных испытаний установлен рост несущей способности анкерной крепи фрикционного типа в течение 4 месяцев на 80 %.

4. Алгоритм выбора типа, конструкции анкеров и параметров крепления горных выработок на глубокозалегающих месторождениях калийных солей, отличающийся учетом условий залегания пласта сильвинита (морфологии, флексурных осложнений, угла падения), механических характеристик слоистых неоднородных, разнопрочных и разномодульных пород кровли горных выработок.

Практическая ценность диссертации состоит в усовершенствовании конструкции анкерной крепи с обеспечением устойчивости подземных выработок, пройденных в ослабленных прослоями солей массивах горных пород и в обосновании технологических требований к возведению анкерной крепи в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях разработки глубокозалегающих соляных месторождений.

Личный вклад автора заключается в постановке цели, задач и формулировании основной идеи диссертационной работы; реализации математического моделирования напряженно-деформированного состояния массива с уточнением распределения нагрузок по длине усовершенствованного анкера; разработке алгоритма и методики обоснования параметров анкерного крепления в слоистых разнопрочных и разномодульных массивах горных пород с включениями солей; опытно-промышленной апробации усовершенствованной технологии анкерного крепления в условиях Гремячинского месторождения калийных солей; разработке технико-экономических рекомендаций.

Теоретическая значимость исследования заключается в обосновании подхода к выбору вариантов и параметров анкерного крепления горных выработок, пройденных в слоистом массиве разнопрочных и разномодульных пород, обеспечивающих их устойчивость.

Обоснованность и достоверность научных результатов обеспечивается сходимостью результатов выполненных исследований в лабораторных, шахтных условиях при использовании общепризнанных методик и сертифицированного программного обеспечения; их сопоставимостью с результатами опубликованных ранее научных достижений; положительными результатами опытно-промышленной апробации технологии оценки состояния и несущей способности разных видов анкерной крепи в изменяющихся условиях подземного рудника Гремячинского горно-обогатительного комбината с корректной постановкой задач, достаточным объемом исходных данных и достоверным определением граничных условий моделирования.

Реализация выводов и рекомендаций. Основные положения диссертации использованы при разработке типовых паспортов крепления подземных выработок Гремячинского рудника.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы обсуждались на XXX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2022» (г. Москва, 2022), IV Международной научно-практической конференции «Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ» (г. Магнитогорск, 2022), XXXI Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2023» (г. Москва, 2023), Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: Устойчивое развитие», Научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» (г. Магнитогорск, 2023 г). Основные результаты докладывались на технических советах Гремячинского ГОКа.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 9 работах, 6 из которых – в изданиях, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Российской Федерации и входящих в базу Scopus, и имеется 1 патент РФ на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключительных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, насчитывающего 92 наименования. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц, 45 рисунков и 2 приложения.

1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

1.1 Анализ и обобщение опыта крепления горных выработок анкерной крепью

За последнее время в горнодобывающей промышленности различных стран мира увеличивается объем применения анкерной крепи для крепления подземных выработок. Так, в Англии сообщалось об использовании анкерной крепи при разработке сланца в Северном Уэльсе еще в 1872 г. В Германии анкерную крепь применяли еще до первой мировой войны, в 1912 г. на шахте «Фриденсгрубе» применялись деревянные клинощелевые анкеры [19,73]. В 20-ых годах прошлого века – на свинцовом руднике «Святого Иосифа» в США настроено систематическое их использование анкеров. В 1947 г. инженеры Горного бюро США под руководством Е.М.Томаса применили анкерную крепь в качестве меры борьбы с проявлением на ряде угольных шахт внезапных вывалов в кровле. Результаты первых опытов были настолько благоприятны, что уже к концу 1947 г. при активной технической помощи и оперативной информации Горного бюро США анкерная крепь применялась на многих угольных шахтах этой страны. В 1949 г. этот способ крепления использовался более чем в 200 шахтах, и постепенно набирая обороты, потребление анкерных болтов достигло 25 млн. штук уже к 1952 г. [26]. Так, в 1958 году данным видом крепи было закреплено более 35% всех горных выработок американских шахт, и по статистике к 1991 году объем анкерного крепления превышал 50% [75]. В последние годы на горных предприятиях и при строительстве подземных сооружений в США устанавливают ежемесячно около 4 млн. анкеров. Опыт США был довольно быстро перенят горными предприятиями Канады, где еще в 1955 г. На один установленный анкер приходилось 132 т руды, добытой на всех рудниках страны, причем при добыче 27% всех руд один анкер расходовался на каждые 50 т руды и менее. В угольной

промышленности Канады только на четырех шахтах компании Доминьон в Сиднейском бассейне ежегодно устанавливали около 100 тыс. анкеров, закрепляя ими площадь кровли порядка 140 тыс. м². Несколько позднее анкерную крепь стали широко применять в горнопромышленных странах Европы [19] и других частях света.

Обеспечение устойчивости горных пород требуется почти везде - при открытой добыче руд, в подземных рудниках, при строительстве метро и других подземных сооружений.

Согласно принятой классификации, анкеры бывают двух типов: точечно-закрепленные и закрепленные на всю длину.

Российские ученые, профессора А.А. Борисов, Н.С. Булычев, Н.И. Мельников, Н.М. Качурин, Л.А. Петров, В.М. Рогинский, А.А. Привалов, Б.Д. Терентьев, В.Н. Семевский, В.А.Ткачев, Н.Н. Фотиева, Г.Г. Штумпф, д.т.н. А.А. Зубков, В.В. Некрасов, д.ф.-м.н. А.П. Широков, к.т.н. И.А. Мартыненко, Б.И. Стрыгин, В.А. Лидер, И.А. Юрченко и др. внесли значительный вклад в развитие теории и практики анкерного крепления.

Значительный опыт анкерного крепления выработок различного технологического назначения в сложных горно-геологических условиях был накоплен как в отечественной, так и в зарубежной практике [62,45,10,81,88,44,61]. В работе [86] рассматривается мировой опыт крепление капитальных и подготовительных выработок передовых угледобывающих стран (США, Австралия, Китай и др.). Доказано, что эффективное и надежное крепление может быть обеспечено при использовании сталеполлимерных анкеров с несущей способностью не менее 100-130 кН.

Анкерное крепление становится все более популярным на некоторых шахтах Кузбасса, где более 90% выработок закрепляется данным способом [17]. Усовершенствование буровой техники и разработка быстротвердеющих закрепляющих смесей на основе полиэфирных смол [61], цемента, также сопровождает этот процесс.

Значительный опыт применения двухуровневой анкерной крепи накоплен на шахтах Воркуты, Якутии, Сахалина, Кузбасса и Украины [46,65-67,68,69]. Применения сталеполимерной анкерной крепи в различных горно-геологических условиях было распространено на ряде рудников Казахстана, Алтая и Бурятии. Экономическая эффективность применения анкерной крепи общеизвестна по сравнению с другими видами крепи.

Работы ученых в области горного дела д.т.н. Петровского Б.И., д.т.н. Губанова В.А., Полежаева В.П., Старовойтова Ю.В., Старовойтова В.С., Тухто А.А. и ряда других были посвящены решению проблемы управления сложноструктурными трудноуправляемыми кровлями, а также установления рациональных параметров механизированных крепей в условиях Старобинского месторождения. Однако, несмотря на пристальное внимание к механизму формирования динамических проявлений горного давления в лавах нижнего слоя и условиям, при которых они возникают, этот вопрос оставался недостаточно изученным [62].

Кандидат технических наук А.Л. Поляков рассмотрел задачи, связанные с изучением условий и механизма формирования динамических проявлений горного давления в условиях слоевой выемки калийных пластов на больших глубинах. Он также разработал технологический способ снижения интенсивности динамических проявлений со стороны кровли пласта, включая отработку охранных целиков, с целью повышения безопасности труда. Автор предложил использовать данные о механизме деформирования и обрушения пород кровли при слоевой выемке калийного пласта для разработки технологических способов управления подобного рода геомеханическими процессами [10]. Вопросам применения анкерной крепи, в том числе сталеполимерной, посвящено значительное количество работ. Для определения параметров анкерной крепи существуют нормативные документы, которые с успехом применяются на шахтах РФ [34]. Автор исследования [10] предлагает устойчивость выработок, пройденных в многолетнемерзлых породах, обеспечивать за счет упрочнения этих пород сталеполимерной анкерной крепью на основе установленных закономерностей взаимодействия многолетнемерзлых

пород и скрепляющего эффекта схватывающего состава при этом учитывается влияние на устойчивость выработки времени от обнажения пород кровли до их крепления. Сравнительный анализ характеристик сталеполимерных и сталеминеральных анкерных крепей с учетом [81] приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительные показатели сталеполимерных и сталеминеральных анкерных крепей

Наименование показателей	Сталеполимерная крепь	Сталеминеральная крепь
1	2	3
Долговечность	Спустя 3-5 лет не может эксплуатироваться без регулярного контроля, диагностирования и корректировки паспортов крепления горных выработок	Высокий срок службы (50 и более лет) минерального состава на цементной основе не требует постоянного контроля работы крепи.
Пожаробезопасность	Горюча	Не горюча
Термостойкость	До 300-350°C	До 1000°C без снижения прочности закрепляющей втулки
Характеристика вяжущих составов	Множество полимерных составов имеют разные основы: эпоксидную, карбоксилую (фенолоформальдегидную), шлакогипсовую и полиэфирполиуретановые, определяющие необходимость проведения специальных исследований для определения их прочностных характеристик. Высокая стоимость	Низкая стоимость цементной смеси обусловлена ее составом, который включает измельченный глиноземистый шлак, портландцемент, гипс и активатор твердения в виде кальцинированной соды, а также другие добавки
Токсичность	Для исследования токсичности различных полимерных вяжущих, необходимых для шахт, требуются специальные химико-медицинские исследования, в связи с их большим многообразием, но до настоящего времени применяемые полимерные вяжущие имеют только временные разрешения на их применение в шахтах по показателю «токсичность»	Нетоксична и соответствует государственным санитарно-эпидемиологическим нормам и правилам. Получены соответствующие разрешительные документы Ростехнадзора РФ

Значительное замедление процесса проведения выработок большого поперечного сечения возникает из-за продолжительности крепления пород кровли и боковых подготовительных выработок. В работе [81] предлагается технология поэтапного проведения и крепления подготовительных выработок с

использованием разных типов временных анкерных крепей для обеспечения безопасного состояния пород кровли в зоне работы проходческого комбайна.

На базе анализа технологических процессов, проведенных как в период установки анкеров, так и в процессе их эксплуатации, был выявлен круг проблем, решение которых позволит повысить эффективность анкерного крепления, увеличить устойчивость выработок, снизить время и затраты на их проведение. Обзор и анализ результатов исследований, направленных на повышение эффективности подземной разработки месторождений полезных ископаемых в ухудшающихся горнотехнических и горно-геологических условиях, подтверждает возможность обеспечения эффективного и надежного крепление капитальных и подготовительных выработок применением анкерной крепи (табл.1.2).

Таблица 1.2 – Систематизация исследований, направленных на повышение эффективности технологии подземной добычи при возведении анкерной крепи в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
1	2	3
Е С Кулешов	Изыскание возможности повышения результативности технологических решений, обеспечивающих безопасную и эффективную эксплуатацию горных выработок при использовании анкерной крепи высокой несущей способности	Определены статистически значимые связи между несущей способностью анкерной крепи и временем эксплуатации выработок, пройденных в горных породах с разным составом, прочностью и уровнем водообильности
В.А Асанов	Создание методов для оценки устойчивости несущих элементов камерной системы разработки, направленных на повышение безопасности при эксплуатации месторождений водорастворимых руд	Предложен метод определения остаточного срока службы междукамерных целиков, который используется для расчета времени принятия дополнительных мер по обеспечению устойчивости водозащитной толщи и защите подрабатываемых участков
С.Г. Ашихмин, А.Н. Анфалова	Обоснование методов обеспечения устойчивости выработок, пройденных в условиях предельного напряжения массива горных пород блочного строения	Составлена оценка воздействия анкерной крепи на длительность периода высокой устойчивости
А.Ф. Янак	Исследование закономерностей формирования эквивалентных мощностей разрушенных зон в горном массиве с целью обоснования параметров и	Создан системный подход к решению проблем выбора оптимальных методов анкерного крепления и поддержания подготовительных выработок основанный на выявлении

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
1	2	3
	разработки методики анкерного крепления в подготовительных выработках, направленных на увеличение эффективности процесса и обеспечение надежной эксплуатации на протяжении установленного периода времени	геомеханических зависимостей между параметрами состояния горного массива при взаимодействии крепей и горных пород в различных горнотехнических условиях
В.А. Губанов	Обоснование геомеханических характеристик для защиты и поддержания подготовительных и очистных выработок при отработки калийных месторождений длинными очистными забоями	Создана аналитическая модель деформирования выработок в различных горно-геологических и горнотехнических обстановках, а также разработана инженерная методика для расчета параметров крепи
А.В. Евсеев	Разработка способов обеспечения устойчивости кровли очистных выработок при отработке сближенных пластов в тонкослоистом соляном массиве с высоким содержанием глинистого материала	Определены прочностные и деформационные свойства глинистых контактов соляных пород, которые учтены в параметрическом обеспечении геомеханических расчетов условий безопасной отработки сильвинитовых пластов
А.И. Чавкин	Исследование закономерностей изменения несущей способности сталеполлимерных анкерных крепей в зависимости от процессов коррозионного износа их составных элементов с целью формирования эффективных технологических подходов к увеличению срока службы крепей на всем протяжении эксплуатации подготовительных выработок в условиях повышенной влажности воздуха и наличия воды в горных породах	Предложен метод поддержания исходных характеристик анкерной крепи в течение длительного периода эксплуатации путем использования антикоррозионных покрытий. Также разработаны технические требования к средствам антикоррозионной защиты для металлической анкерной крепи
Р.Ю. Завьялов	Обоснование теоретических положений расчета анкерной крепи протяженных выработок, пройденных в гравитационном или тектоническом поле природных напряжений, с учетом конструкции и параметров анкерной крепи и взаимного влияния анкеров друг на друга	Разработан комплекс алгоритмов и программ для ПЭВМ, позволяющий производить многовариантные расчеты несущей способности широкого класса подземных конструкций в целях практического применения
А.С. Позолотин	Разработка технологии упрочнения кровли выработок, сохраняемых на границе с выработанным пространством, посредством канатных анкеров	Созданы методические основы для расчета параметров канатных анкеров при упрочнении кровли выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством

Авторы	Научные исследования	Полученные решения
1	2	3
С.С. Цибаев	Обоснование методик расчета характеристик анкерного крепления горных выработок, испытанных воздействию влаги или сейсмических волн, с целью обеспечения их устойчивости	Предложена методика мониторинга состояния крепи и прилегающего массива в условиях воздействия негативных техногенных факторов
А.А. Зубков	Совершенствование устройства самозакрепляющихся анкеров (СЗА) и процесса нанесения их несущего покрытия, а также разработка методики расчета параметров СЗА, направленных на ускорение приобретения несущей способности, повышение износостойкости, включая эксплуатацию в агрессивных средах и условиях интенсивной прокладки и крепления горных выработок	Разработаны новые конструкции самозакрепляющихся анкеров (СЗА), создана технология антикоррозионного покрытия, учтены специфические условия нагрузки СЗА в прочных породах, что позволило уточнить процедуру расчета параметров анкера и составить паспорт для анкерного крепления горных выработок при повышенной интенсивности работ в очистном блоке

Из вышеизложенного следует, что при современном состоянии и усложнении горно-геологических условий разработки месторождений подавляющая часть горных выработок рудников и угольных шахт проводится с применением анкерной крепи. Одновременно появляются новые задачи, связанные с совершенствованием анкерной крепи при отработке месторождений калийных солей с включением в породы кровли пропластков соляных пород различной ориентации.

Исследования, проведенные на горнодобывающих предприятиях России и за рубежом, показали, что наиболее эффективным и технически оснащенным способом обеспечения устойчивости горных выработок на заданный период времени является применение анкерного крепления. Анкерные крепи получают все большее распространение, по сравнению с иными конструкциями, используемыми для крепления горных выработок. Поэтому, актуальной задачей для практики эксплуатации месторождений является изыскание новых подходов к обоснованию конструкции и параметров крепления горных выработок, пройденных в различных горно-геологических условиях.

1.2 Особенности конструкций, методов выбора и расчета параметров анкерной крепи

В последние годы наблюдается интенсивное развитие технологий проведения подземных выработок, конструкций анкерных крепей и технологий анкерного крепления. Разнообразие конструкций анкерных крепей и технологии их применения также значительно увеличились [33,49,17].

В настоящее время определение параметров анкерной крепи производится преимущественно с использованием следующих методов:

- положений теории свода равновесия;
- типовых кривых смещений пород в выработках;
- метод проф. Баклашова, Тимофеева, учитывающий характер сдвижения пород в горных выработках
- энергетической теории;
- положений теории плит (балок) [78].

В работе [67] предложен усовершенствованный метод расчета параметров анкерной крепи, позволяющий значительно снизить зоны неупругих деформаций пород в контуре выработки. В отечественной практике разработки угольных месторождений методы расчета параметров анкеров и крепления, разработки мероприятий по безопасному возведению и контролю анкерного крепления определены в следующих нормативно-правовых документах: Правилах безопасности в угольных шахтах [63], Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах [35] и ГОСТ-е [15].

При выборе оптимального типа крепи для конкретных горно-геологических условий необходимо учитывать такие факторы, как категория устойчивости пород, глубина ведения горных работ, площадь поперечного сечения и назначение горных выработок, характеристики трещиноватости и напряженного состояния породного массива.

Однако, существующие расчётные методы, предназначенные для определения параметров металлических анкерных крепей, не учитывают современные сталеполлимерные анкеры. В расчётах также не учитываются

основные определяющие факторы, такие как форма сечения выработок, неоднородность физико-механических свойств пород по периметру выработки, степень нарушенности пород и т.д.

Для расчета параметров крепления широких выработок (6-8м) при использовании глубоко заложенных анкеров, данные методики не подходят. Согласно мнению автора [92], обоснование параметров анкерного крепления подготовительных выработок должно базироваться на выявлении закономерностей формирования эквивалентной мощности дезинтегрированных зон породного массива

Неверный выбор типа и параметров применяемой крепи с недостаточной несущей способностью может привести к возникновению рисков внезапных обрушений пород, увеличивает вероятность повреждения участков выработки и, следовательно, аварийных простоев в работе рудника, и в то же время, использование крепи с избыточной несущей способностью может привести к увеличению операционных затрат и, как следствие, существенному снижению экономической прибыли компании [87].

На данный момент определение основных параметров анкерного крепления на горных предприятиях России выполняется методом ожидаемых смещений пород в контуре выработки. Нагрузка на крепь выработки определяется на основе типовых кривых прогнозируемых смещений, зависящих от пролёта выработки, её глубины и средневзвешенного сопротивления пород на сжатие. Шаг установки поперечных рядов анкеров в кровле выработки определяется отношением несущей способности анкеров к сопротивлению анкерной крепи и принятому расстоянию между анкерами в ряду. Ключевыми параметрами расчёта крепи горных выработок являются количество анкеров в ряду, длина анкера, плотность установки крепи, сопротивление крепи и шаг установки поперечных рядов [87].

В исследованиях И.А. Юрченко и Е.В. Курганского [43] представлен анализ несущей способности распорно-замковых анкеров как функции от прочности пород и смещения анкера. По мнению авторов, снижение прочности пород в

процессе эксплуатации выработки, вызванное выветриванием и увлажнением, снижает несущую способность крепи.

В работе [42] к.т.н. Е.С. Кулешов установил закономерности изменения во времени ресурса работоспособности анкерной крепи и обосновал технологические решения по воспроизводству несущей способности анкера в длительно поддерживаемых подготовительных выработках.

Авторы [4] предложили метод выбора технологии анкерного крепления и расчета анкерных крепей в сочетании с металлоарочной крепью, включая одно-, двухуровневые анкерные крепи, ориентированные на различные горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации горных выработок. Этот метод основан на «гипотезе свода» проф. М.М. Протодяконова, используя расчетные смещения слоев горных пород боков и кровли подземных выработок в качестве критерия интенсивности горного давления [79]. Авторами [4] также проведён расчет параметров анкерного крепления для горных выработок, расположенных на различных глубинах и в различных условиях разработки, с использованием данного подхода.

Порядок расчета параметров анкерной крепи для конкретных условий эксплуатации горных выработок включает в себя следующие этапы [79]:

- определение расчетного сопротивления на сжатие слоев пород кровли и боков горной выработки;
- определение расчетного смещения слоев пород кровли и боков горной выработки;
- выбор схемы крепления горных выработок в зависимости от типа строения пород кровли и прочности вмещающих пород, включая одно-, двухуровневую, комбинированную схемы;
- расчёт характеристик и параметров анкерного крепления;
- разработка технологической схемы крепления горной выработки.

В работах [54,48,84,91,53] предлагается классификация конструкций анкерных крепей на основе нескольких характеристик, таких как механизмы закрепления в горных породах, материал анкеров, их длина, степень податливости,

несущая способность, способ закрепления, время введения в работу, а также конструктивные особенности применения в сочетании с различными типами креплений горных выработок.

В исследованиях [90,91] подтверждена эффективность применения анкерной крепи для укрепления подземных сооружений в слабообводненных породах с предполагаемым смещением породы кровли не более 100 мм. Согласно [80], максимальная относительная деформация кровли горной выработки, закрепленной анкерами, ограничивается 2%. Превышение этого значения, как правило, приводит к обрушению кровли. Однако, последние исследования в Кузбассе [5,24,55] свидетельствуют о том, что новые конструкции тросово-канатных анкеров различной длины и инновационные методы закрепления успешно используются при ожидаемых смещениях горных пород свыше 100 мм.

Режим работы анкерной крепи в скважине и, следовательно, взаимодействие с горными породами зависит от метода закрепления анкера. Анкер можно жестко закрепить в одной точке скважины или создать возможность проскальзывания замка внутри скважины (гибкий анкер).

В России широко применяются анкерные конструкции, обеспечивающие жесткое соединение горных пород на всей протяженности скважины. Рисунок 1.1 демонстрирует наиболее распространенные анкерные конструкции, используемые в горнорудной промышленности России

В настоящее время существует множество разных конструкций податливых анкеров. Анализ существующих подходов и патентного поиска позволил выделить две основные группы конструкций анкеров:

1. С дополнительным узлом податливости для достижения желаемого эффекта.
2. С обеспечением податливости за счет деформации самого стержня анкера или разрыва его элементов.

Первая группа конструкций отличается простотой и относительно низкой трудоемкостью монтажа. Однако, податливость анкеров этой группы не высока,

что делает их использование ограниченным. Вторая группа – более сложная в конструктивном исполнении.

С учетом этих факторов следует констатировать, что хоть первая группа анкеров более проста и легка в монтаже, их ограниченная податливость ограничивает возможности применения.

Существует множество методик выбора конструкции и расчета параметров крепи для различных горно-геологических условий как в России, так и за рубежом. В Донецком угольном бассейне в 80-90-х годах прошлого века профессором, доктором технических наук Ю.З. Заславским был использован и широко апробирован критерий устойчивости породных обнажений, базирующийся на сравнении прочностных характеристик массива горных пород с величиной напряжений на контуре выработок [29,30].

В Кузбассе д.т.н. Л.М. Ерофеевым был предложен новый критерий, основанный на новых научных данных, который учитывает различные факторы, влияющие на прочность горных пород. Он учитывает трещиноватость пород, форму выработок, взаимодействие между выработками и сопряжениями, а также влиянием очистных работ.

В работах профессоров Ю.З. Заславского Б.А. Картозия, К.А. Ардашева, Н.С. Булычева, А.П. Широкова, д.т.н. Л.А. Кафорина, И.Г. Коскова, к.т.н. Ю.И. Свирского, К.В. Кошелева, Т.Н. Цоя, Е.В. Стрельцова, А.П. Пастухова и других ученых рассматриваются вопросы выбора типа крепи с усовершенствованием конструктивных решений.

Анализ методов выбора конструкции крепей и расчета их параметров, проведенный в рамках исследований [9,21-23,38], подтверждает это. При расчете прочности крепей часто используется теория «свода предельных равновесий», учитывающая, в том числе, изменения прочностных характеристик горных пород, вызванные ранее не учитываемыми факторами.

В забое шпура и скважины закрепляют анкерные крепи, которые могут быть точечными или сплошными. Точечное закрепление осуществляется с помощью

разных механических замков, а также химическими составами на основе синтетических смол и цементных растворов с использованием энергии взрыва.

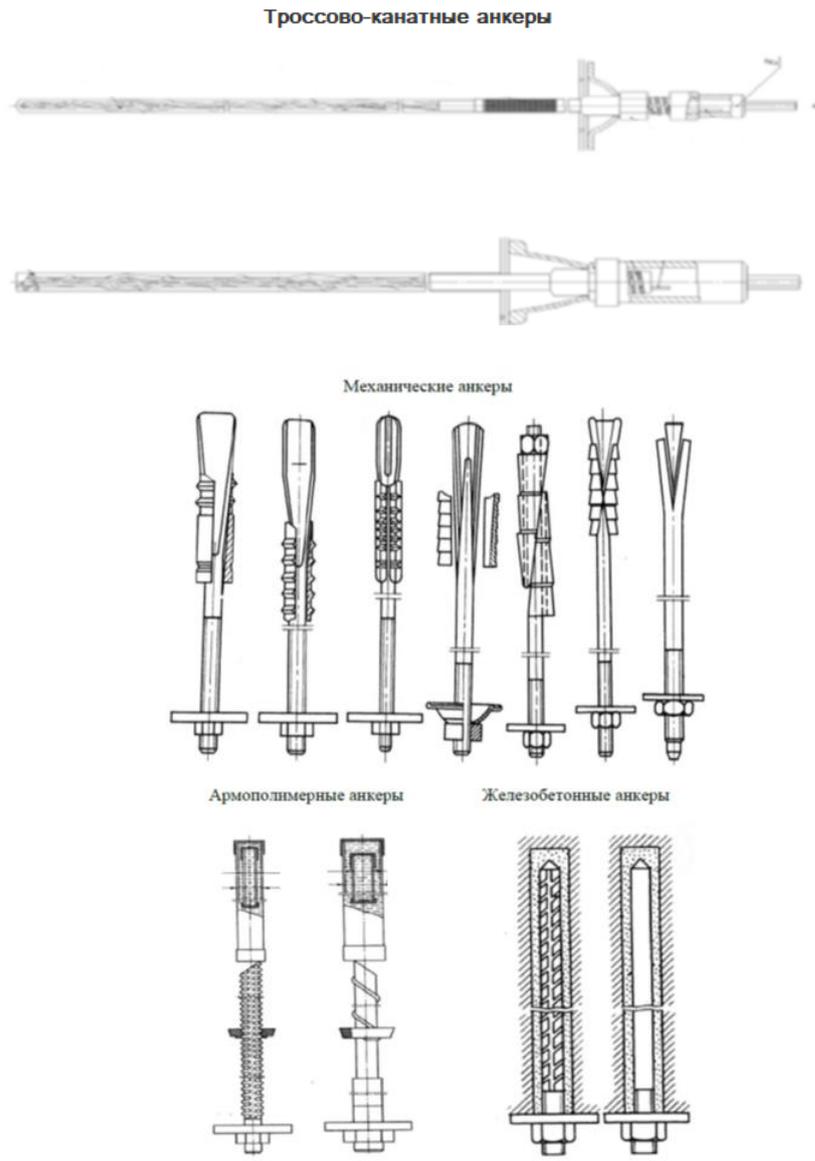


Рисунок 1.1 – Конструкции анкерных крепей, применяемых в горнорудной промышленности

Анкерную крепь с точечным закреплением анкеров рекомендуется использовать в породах с прочностью на одноосное сжатие не ниже 29 МПа. Она состоит из металлического анкера, который имеет длину от 0,8 до 2,5 метров и диаметр 20 мм. На одном конце анкера есть клиновидная головка, а на другом - резьба. Кроме того, в комплект входят две полумуфты, опорная плита и натяжные гайки.

Железобетонную штанговую крепь рекомендуется применять в качестве постоянной или временной крепи в выработках, пройденных по неустойчивым и средней устойчивости породам.

Согласно разработанным рекомендациям, порядок применения штанговой крепи в горных выработках может быть, как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.

Стеклопластиковый анкер, по аналогии с железобетонными штангами, представляет собой арматурный стержень, изготовленный из высокопрочного стеклопластика или базальтопластика, закрепленный в шпуре твердеющим составом на основе цементного вяжущего. Данные анкеры обладают следующими преимуществами: высоким значением предельного усилия на разрыв стеклопластикового стержня – 11,7 т; отсутствием металла в конструкции анкера; низкой прочностью при воздействии механических нагрузок, что позволяет анкеру легко разрушаться и исключать разрушение механизмов и оборудования в процессе транспортирования и переработки рудной массы; относительно малый вес стеклопластикового анкера облегчает транспортировку и установку.

В результате заполнения скважины бетоном и последующего введения армирующего стержня образуется железобетонная штанговая крепь, которая состоит из двух материалов – металлической арматуры и бетона (рис. 1.2). Железобетонная штанга обеспечивает свою работу, благодаря сцеплению бетона с арматурой и породой стенок скважины (шпура).

Устройство штанг также может предусматривать выступающую в выработку часть анкера без образования петли (рис 1.2, б). При этом, в случае использования комбинированной крепи с металлической сеткой, для закрепления сетки должны применяться подхваты, позволяющие обеспечить плотность ее прижима к закрепляемым породам. В качестве подхватов может использоваться металлическая пластина с центральным крестообразным прорезом. Размер пластины должен превышать размер ячейки сетки.

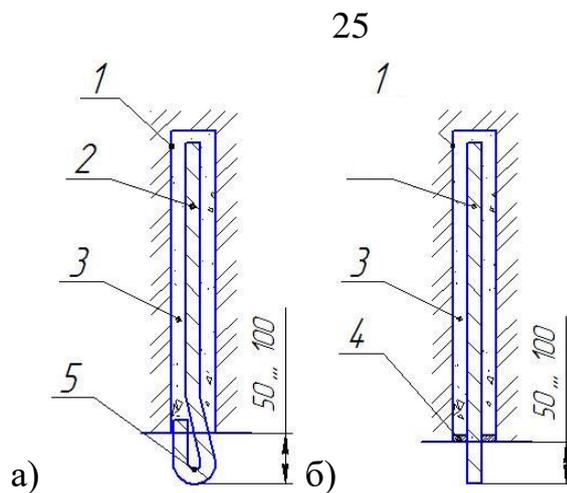


Рисунок 1.2 – Конструкция железобетонной штанги с петлей (а) и прямым выступающим концом (б). 1 – шпур, 2 – металлическая арматура; 3 – твердеющая смесь (цементная); 4 – пластиковая пробка; 5 – петля арматуры

Конструкция стеклопластикового анкера представлена на рисунке 1.3.

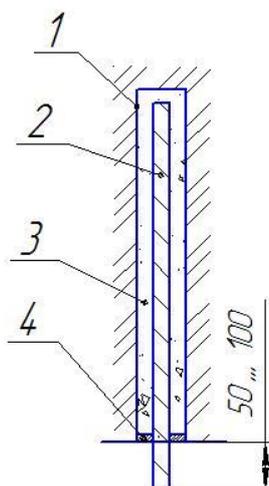


Рисунок 1.3 – Конструкция стеклопластиковой анкерной крепи. 1 – шпур, 2 – неметаллическая арматура; 3 – твердеющая смесь; 4 – пластиковая пробка

Конструкция самозакрепляющегося анкера (СЗА) представляет собой изогнутую в виде трубы пластину с продольным разрезом по всей длине, шириной, обеспечивающей беспрепятственную установку анкера в скважину. Конструкция самозакрепляющегося анкера и принцип его работы приведены на рисунках 1.4. и 1.5. Беспрепятственный ввод в устье скважины самозакрепляющегося анкера (СЗА) обеспечивается за счет вводимого в скважину зауженного конца. Начало анкера имеет опорное кольцо с целью закрепления на него опорной плиты.

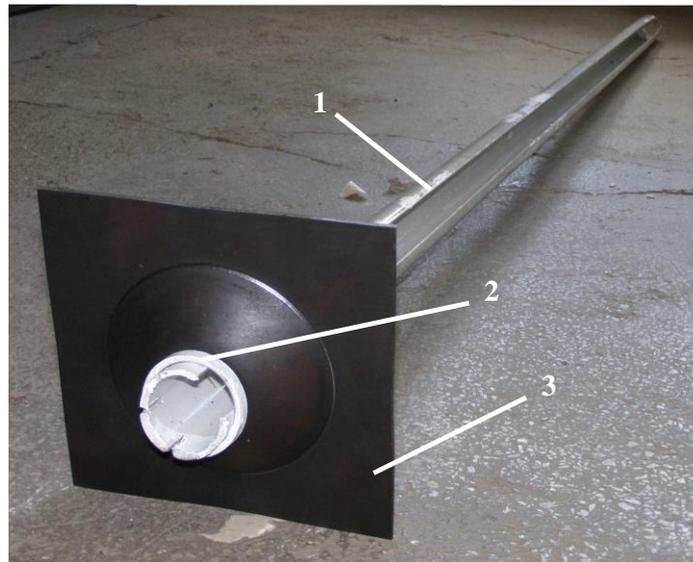


Рисунок 1.4 – Конструкция СЗА: 1 – анкер; 2 – цилиндрическая втулка; 3 – опорная плита

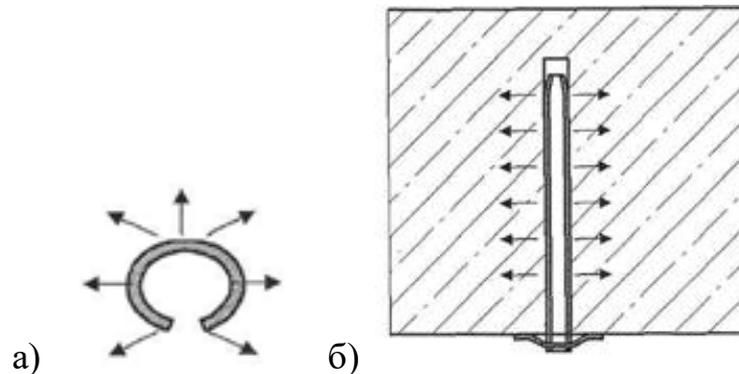


Рисунок 1.5 – Механизм действия самозакрепляющегося анкера: а – в сечении, б – в разрезе

Технология упрочнения кровли выработок, сохраняемых на границе с выработанным пространством, посредством тросово-канатных анкеров рассмотрена в работе А.С. Позолотина [61]. Автор при обосновании параметров крепления горных выработок использует деформационные, конструктивные и технологические особенности тросово-канатных анкеров, а также характеристики геомеханического состояния приконтурного массива.

Автором статьи [54] обоснованы параметры анкерных крепей горных выработок на основе установленных закономерностей формирования во времени областей равновесного состояния породного массива, что позволяет обеспечить эксплуатационную надежность крепления выработок при снижении материальных и трудовых затрат.

Для обеспечения рациональной конструкции анкера необходимо соблюдать важнейшие принципы равнопрочности всех его элементов и узлов. Расчет конструкции и параметров анкера может быть выполнен по трем основным методам: по разрушающим нагрузкам, по предельным напряжениям и по предельным смещениям и деформациям.

Методы сопротивления материалов, строительной механики и геомеханики широко используются для оценки напряжений в процессе эксплуатации анкеров, а также коэффициент запаса прочности, учитывающий качество материала, точность расчетов и воздействие внешних нагрузок, который представляет собой отношение предела прочности к допустимому напряжению. С улучшением качества материалов и развитием методов расчета возможно сокращение коэффициента запаса прочности. Однако, при проведении расчетов по разрушающим нагрузкам, несколько недостатков этого метода стоит учитывать. Во-первых, отсутствие учета пластических свойств материалов приводит к недооценке расчетной несущей способности конструкции. Во-вторых, применение единого коэффициента запаса не позволяет учесть фактическую изменчивость внешних нагрузок на различные узлы и элементы конструкции, а также особенности их работы и изменение механических свойств материалов. Основная идея при расчете заключается в том, чтобы усилие в конструкции от эксплуатационной нагрузки не превышало наиболее вероятного разрушающего усилия, деленного на нормативные коэффициенты запаса прочности конструкции. Несмотря на выбор достаточного значения коэффициента запаса, зависящего от соотношения временных и постоянных нагрузок и учета особых воздействий, этот подход не способен учесть все особенности работы конструкции.

Метод, предложенный Т.Г. Захаровой [31], в основе своей использует расчет параметров крепи на основе предельных деформаций и учитывает пластические свойства материалов. Этот метод также предоставляет универсальный критерий предельного состояния конструкции, определяя его как момент, когда невозможно продолжать эксплуатацию сооружения. В отличие от прежних подходов, система расчетных коэффициентов, предложенная Захаровой, включает в себя

коэффициент перегрузки, однородности материалов и условий работы, и заменяет ранее используемый единый коэффициент запаса прочности.

Согласно автору, такая система позволяет проектировать конструкции, используя материалы с равнопрочными характеристиками. Предельное состояние анкера достигается, когда крепь или ее элементы не соответствуют требованиям эксплуатации, теряя несущую способность или подвергаясь недопустимым деформациям или повреждениям [31].

При проведении расчетов крепи выделяются три основных предельных состояния: первое - по несущей способности (прочности, устойчивости, выносливости); второе - по предельным деформациям (податливость крепи); третье - по растрескиванию материалов крепи (образование трещин в бетонной крепи). Расчет предельных характеристик напряженно-деформированного состояния требует учета того, чтобы значения напряжений, деформаций, размеров и числа трещин не превышали предельных значений, определяющих несущую способность, податливость или разрушение крепи в соответствующих условиях. Различные факторы, такие как нагрузка, внешние воздействия, механические свойства материалов, условия изготовления и эксплуатации, оказывают влияние на коэффициент запаса и эксплуатационную надежность узлов крепи. Прочность и устойчивость конструкции крепи определяются соотношением минимальной несущей способности к максимальной внешней нагрузке, которое должно быть не менее 1. Важно подчеркнуть, что прочность всей конструкции зависит от прочности ее отдельных узлов и элементов.

Несмотря на множество методик расчета параметров крепи сопряжений горных выработок, отсутствует унифицированная теория. В отечественной литературе недостаточно рассмотрены вопросы, связанные с воздействием вида сопряжений на устойчивость обнаженных породных образований и затраты на их сооружение.

В работе [81] предложен новый подход к расчету параметров объемного тензора напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива в окрестности незакрепленной и закрепленной горной выработки. Автор

исследования изучил распределение вертикальных и горизонтальных напряжений и смещений вдоль анкера по ширине выработки и пришел к выводу, что воздействие анкера ощущается в породных слоях в пределах круглой зоны, диаметром 2 м (см. рис. 1.6).

Трудности разработки месторождений полезных ископаемых связаны, в том числе, с динамическими проявлениями горного давления и горными ударами, которые могут привести к резкому обрушению кровли и боковых выработок [28].

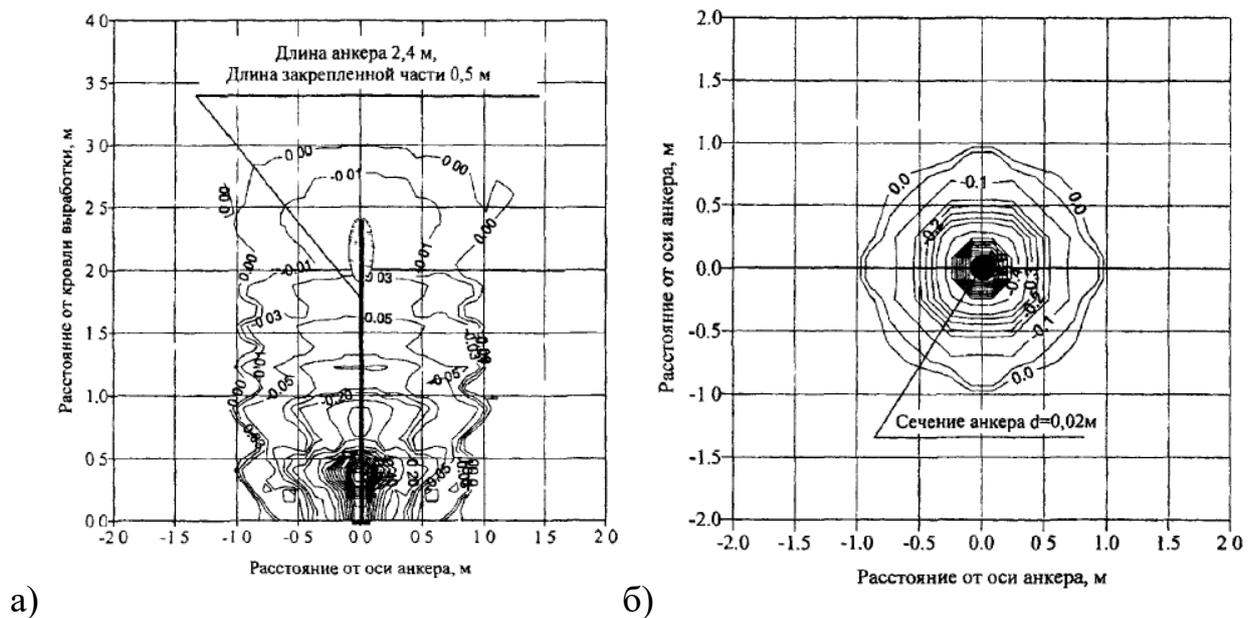


Рисунок 1.6 – Вертикальные напряжения под влиянием анкера (МПа) в поперечном сечении кровли выработки (а) и в плоскости, перпендикулярной анкеру (б)

Авторы [17] предлагают решить эту проблему использованием податливых сталеминеральных анкеров АКМ 20.01-01. Эти анкеры состоят из грузонесущего стержня из стального прутка с особой конструкцией концевика и хвостовика из цельновитой арматуры (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Комбинированный и тросово-канатный анкеры ампульного способа закрепления: а) комбинированный анкер АКМ 20.01-01 производства ООО «АМК»; б) тросово-канатный анкер АК01 производства ООО «РАНК 2»

В соответствии с Инструкцией [82], минимальная податливость анкеров, используемых в опасных условиях, должна составлять 50 мм. Благодаря возможности анкеров АКМ 20.01-01 с расчетной несущей способностью 110 кН, удлиниться без потери несущей способности при нагрузке 140 кН на 10% до разрыва, такие анкеры могут быть использованы в условиях, характеризующихся высоким риском проявления горных ударов. Анкеры закрепляются в шпуре с использованием минеральной композиции АМК 400.

В условиях проветривания горных выработок, анкерную крепь можно установить с помощью перфораторов ударно-вращательного действия, с частотой вращения 100 об/мин.

В условиях ОАО «Беларуськалий» (Солигорск, Беларусь) проведены лабораторные и промышленные испытания сталеминеральной анкерной крепи производства ООО «АМК» и ООО «РАНК2» [37]. Выбор системы разработки для соляных месторождений, включая калийные, определяется необходимостью защиты рудников от постоянной угрозы затопления водами из вышерасположенных водоносных горизонтов. Для обеспечения защиты рудника от затопления необходимо сохранить необходимую мощность водозащитной толщи над разрабатываемым соляным (калийным) пластом и выбрать параметры системы разработки, соответствующие фактической мощности водозащитной толщи.

При разработке пласта необходимо учитывать, чтобы зона техногенных водопроводящих трещин не проникала до верхней границы водоносного горизонта с сохранением неповрежденной водоизоляционной пленки, толщина которой должна быть не менее 10 м, с учетом погрешности определения общей фактической толщины водоносного горизонта.

В работе [86] рассмотрены параметры и технология крепления горных выработок в низкопрочных массивах вмещающих пород, а также способы и средства анкерного крепления при проходке и эксплуатации выработок с учетом геомеханического состояния приконтурного массива горных пород. Автор доказывает, что обеспечение устойчивости контура горной выработки при пересечении зоны неустойчивых пород возможно за счет стабилизации несущего

слоя пород путем создания опережающего ограждающего контура, сформированного с нахлестом наклонно установленными анкерами из металлических стержней с винтообразной поверхностью, возводимых в пробуренные шпуры (или скважины) в кровлю и бока выработки в определенном порядке, с учетом плотности пород, углов расположения и длины химического состава закрепления смолой.

В работах [13,20] акцентируется внимание на использовании анкерной крепи в зонах, где возникают динамические (сейсмические) нагрузки на крепь. Подчеркивается, что использование анкерной крепи обеспечивает наиболее надежное состояние выработок.

Анкеры играют важную роль в укреплении, предотвращая разделение пород, перемещение слоев и структурных элементов, а также повышая сцепление пород и трение, усиливая сопротивление подпора на поверхности и благоприятно влияя на соотношение главных напряжений в массиве и около контура выработки.

Новые понятия, такие как «взаимодействие крепи с массивом» и «система крепь-массив», возникли в результате исследований, описанных в [25], которые пересмотрели традиционные представления о работе крепи как обычной конструкции, подверженной воздействию внешних сил. Согласно развитию механики горных пород, невозможно определить внешние нагрузки на крепь без учета конкретной конструкции и характеристик вмещающего массива пород. Автор считает, что крепь не может быть рассмотрена вне массива, ввиду взаимодействия с горными породами при их совместной деформации. При этом крепь и массив горных пород рассматриваются как элементы одной деформируемой системы.

Создание нового типа крепей с высокой несущей способностью позволяет решить проблему крепления выработок в сложных горно-геологических условиях. Эти конструкции обеспечивают безопасность и высокую интенсивность работ в горных выработках, даже в удароопасных массивах. Для достижения максимальной несущей способности приконтурного массива пород, формируется система «крепь – массив» с контролируемыми и управляемыми параметрами. Это

позволяет существенно сократить зону интенсивного развития геомеханических процессов вблизи выработки.

Важность технологических схем и методов крепления горных выработок определяется сложностью горно-геологических условий и воздействием различных горнотехнических факторов. В процессе эксплуатации горных выработок возникают разнообразные опасности, которые могут проявляться в виде повышенного горного давления, образования куполов и отслоений, увеличения выделения метана и иных газов и других негативных явлений. Эти факторы могут оказывать негативное влияние на крепь и безопасность работников.

Параметры крепления, обеспечивающие устойчивость подготовительных горных выработок на заданный период времени эксплуатации, могут быть установлены на основе закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния массивов полезных ископаемых и вмещающих горных пород. Эти закономерности зависят от основных горно-геологических и горнотехнических факторов, таких как свойства вмещающих пород, вид и плотность крепления, места заложения выработок и их ориентация в массиве по отношению к действующим напряжениям, а также форма и площадь сечения выработки [1,36]. Такой подход позволяет обеспечить устойчивость выработок на протяжении всего периода эксплуатации.

В особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях возведение анкерной крепи требует учета ее различных характеристик, таких как податливость и несущая способность. Опыт изучения особенностей конструкций, расчета параметров и взаимодействия системы «крепь-массив» позволяет сформулировать основные требования к возведению анкерной крепи в таких условиях.

1.3 Требования к возведению анкерной крепи в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях

Опыт изучения системы «крепь - массив» позволил выделить основные требования к крепи горных выработок [47], к которым относится обеспечение сохранности формы и размеров выработки, сохранности элементов крепи и малая сопротивляемость движению воздушной струи при проветривании, а также экономичность капитальных и эксплуатационных затрат. Для этого необходимо тщательно подходить к выбору крепи.

Минимальная несущая способность крепи в породах любой крепости должна составлять 50 кН, анкера – 70-80% от этой величины, длина анкера - не менее 1,4 метров. Анкеры, которые закреплены частично по длине скважины, должны обеспечивать конструктивную податливость 40-70 мм при смещениях породы 150-300 мм. В условиях применения анкеров в горных породах, опасным по горным ударам и выбросам, их податливость должна быть не менее 50 мм.

Для обеспечения соответствия параметров железобетонной штанговой крепи горно-геологическим и горнотехническим условиям месторождения, контроль и приемку крепления горных выработок проводят в два этапа, с учетом утвержденного паспорта крепления выработки.

Горный надзор участка осуществляет приемку и контроль за качеством крепления на первом этапе. При приемке проверяются следующие параметры: глубина и наклон пробуренных шпуров перед установкой штанг, соответствие паспортным параметрам сетки анкеров, качество промывки (продувки) стенок пробуренных шпуров, качество заполнения забуренных шпуров цементно-песчаным раствором, длина выступающей части железобетонных штанг из шпура и соответствие длины арматурных стержней паспортной. Важно учесть следующие факторы: глубина шпура не должна быть меньше установленной паспортом крепления, угол наклона шпура не должен отклоняться от паспортного, более чем на 10%, расстояние между шпурами в ряду и между рядами не должно превышать 10% от паспортного значения, а при навеске металлической сетки – 20% от этой

величины, при условии размещения шпуров в углублениях контура. Кроме того, стенки шпуров должны быть тщательно очищены от буровой мелочи и пыли.

Визуальная проверка проводится для определения чистоты стенок, при этом не менее 20% пробуренных шпуров должны быть проверены. После установки штанг шпуры должны быть полностью заполнены песчано-цементным раствором до устья. Допустимая неполнота заполнения шпуров раствором после установки анкера не должна превышать 5 см. Общее количество недозаполненных раствором шпуров не должно превышать 10% от общего числа. Выступающая часть железобетонных штанг не должна превышать 10 см и должна соответствовать паспорту крепления.

В процессе проходки выработки и последующей оборки заколов на отдельных участках допускается обыгрывание концов железобетонных штанг на величину до 30-40 см. Количество таких штанг на участке, равном ширине обработки, не должно превышать 20%. Если это условие нарушено, обыгранные штанги должны быть закреплены снова.

Железобетонные штанги, которые не соответствуют допустимым отклонениям, должны быть отклонены горным надзором участка, и на их место должны быть установлены новые штанги.

За последние годы, сталеполимерные анкеры стали очень популярными. Они обладают высокой несущей способностью и надежностью закрепления. Однако, такие анкеры, так же, как и анкеры распорно-замковых конструкций, подвержены коррозии. Ряд научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, включая ВНИМИ, КузГТУ, ШахтНИУИ, МГТУ, СПбПУ, ЮРГПУ(НПИ) и другие, занимаются решением проблемы сохранения работоспособности анкерной крепи в течение всего срока службы горных выработок.

Как показывает анализ мирового опыта отработки месторождений горно-химического сырья, практически все разрабатываемые залежи обладают спецификой, которая в значительной степени определяет не только параметры тех или иных систем разработки, а и принципиальную возможность применения таких

систем. Растворимость солей требует обеспечения гарантированной изоляции разрабатываемой залежи от водоносных горизонтов для предотвращения затопления рудников [7].

Обеспечение безопасных условий ведения горных работ при подземной разработке месторождений магниевых и калийных солей связано с проблемой предотвращения прорыва подземных пресных вод в горные выработки. Для этого необходимо обеспечить сохранность сплошности налегающих соляных пород на весь срок службы рудника, выполняя функцию водозащитной толщи (ВЗТ). Зачастую это достигается применением камерной системы разработки с оставлением междукамерных целиков.

В работах отечественных и зарубежных авторов были рассмотрены различные аспекты механики соляных пород, связанные с деформированием под нагрузкой, обеспечением безопасности водозащитных толщ и оценкой устойчивости выработок. Исследования показали, что соляные породы реагируют на внешнюю нагрузку особенно чувствительно при длительном ее воздействии.

Пласты, залегающие на больших глубинах, обычно характеризуются сложными горно-геологическими условиями, что негативно сказывается на устойчивости горных выработок, ввиду увеличения горного давления. Однако, исследования характеристик работы калийных рудников показывают, что на устойчивость выработок в соляных породах большее влияние оказывает состав вмещающих пород кровли пластов, а не глубина разработки. В частности, выработки становятся менее устойчивыми при наличии большого количества глинистых включений (нерастворимого остатка) в породах. Критическим значением содержания таких неустойчивых глинистых пород в кровле разрабатываемых пород на больших глубинах считается уровень 7-10%. На Гремячинском месторождении по разрезам геологических скважин выявлено, что их содержание в продуктивном пласте и основной кровле в среднем не превышает 4%.

Важным условием для проведения расчетов является сохранение проектных сечений подготовительных выработок и очистных камер на протяжении не менее

10 лет, а также заполнение выработанного пространства. Для обеспечения долговременной эксплуатации подготовительных и очистных выработок на Гремячинском месторождении выбрана анкерная крепь, которая является достаточно эффективной и относительно недорогой в данных условиях.

Для временного крепления выработок перед началом постоянного крепления используется анкер с параметрами: длина - 2,2 м, масса - 4,4 кг, разрывное усилие - не менее 100 КН. Главная цель установки этого крепления - обеспечение устойчивости и сохранение проектных сечений выработок. Кроме того, вокруг анкера устанавливается полимерная сетка, способная выдерживать нагрузку до 30 КН на 1 м². Необходимость использования сетки обусловлена защитой ее от падения отслоившихся пород, учитывая волнообразный характер контактных слоев сильвинитового пласта и пород кровли.

Доктором технических наук В.А. Губановым [18] рассмотрены проблемы динамических осадок кровли и охраны подготовительных выработок Старобинского месторождения на глубинах свыше 750 м. Проблема усугубляется еще и тем, что на некоторых участках калийных пластов в кровле встречаются труднообрушающиеся породы, причем, не только в основной кровле, но и в непосредственной. При переходе на большие глубины резко проявляются свойства соляных пород, выражающиеся в их ползучести, и, как следствие, снижении устойчивости выработок. Переход на глубины разработки свыше 750 м сопровождается также увеличением содержания слабых глинистых, глинисто-карналлитовых пород над сильвинитовым слоем, а также отсутствием сильвинитовых слоев, которые на меньших глубинах служат в качестве защитной пачки при привязке кровли подготовительных выработок [8, 18].

Разработка калийных месторождений Предкарпатья сопровождается непрерывным накоплением подземных пустот и отходов переработки руд на поверхности. На данный момент объем выработанного пространства составляет 40 млн.м³, при этом свыше 30 млн.м³ галитовых отходов обогащения размещены на поверхности. Примечательные проявления горного давления, такие как провалы земной поверхности, были замечены на руднике Калуш-Центральная и Северная.

Добыча сильвинитовых полей Северного и Хотинского привела к значительному оседанию до 3-5 м и подтоплению земной поверхности. Более 40 жилых домов попали в зону опасных сдвижений.

Технологические параметры селективной отработки пластов сложного строения, и механизмы разрушения ответственных элементов горнотехнических конструкций при наличии взаимовлияния отрабатываемых калийных горизонтов имеют особенности, требующие дополнительных геомеханических исследований, поскольку существенно влияют (а в некоторых случаях являются определяющими, например, по фактору сохранности ВЗТ) на технико-экономические показатели работы рудников [8]. Таким образом, для обеспечения безопасности горных работ и полноты выемки полезных ископаемых требования к возведению анкерной крепи при разработке соляных месторождений должны учитывать выявленные особенности горно-геологических условий месторождений на больших глубинах.

1.4 Способы оценки состояния анкерной крепи, методики оценки и анализа результатов испытаний

Оценка состояния элементов анкерной крепи и деформаций массива является неотъемлемой частью текущего периодического визуального осмотра.

Целью значительного числа исследовательских проектов в Австралии и Китае стало решение широко распространенной проблемы коррозионного повреждения анкеров. Последующее разрушение анкера вызывается контактом агрессивных подземных вод с открытыми частями анкера и обусловлено неравномерным покрытием анкера смолой.

В шахтных условиях оценка коррозионного износа производится с применением, как правило, штангенциркуля для замеров диаметра анкерного стержня, высоты и диаметра гайки, толщины подхвата, а также диаметра прутка решётчатой затяжки и производится на каждом участке не менее, чем в трех различных местах. Допустимый коррозионный износ от номинального диаметра

составляет: до 20% для тела анкерного стержня, до 15% для выступающей резьбовой части и до 25% для опорных элементов крепежа.

Опасными деформациями элементов анкерной крепи могут быть следующие внешние признаки: изгиб шайб, изгиб анкерных подхватов или опорных металлических плит, шайб; провисание сварной решётчатой затяжки между подхватами без разрушения сварного соединения и без вытягивания решётки из-под подхвата; отсутствие плотного контакта анкерных подхватов с кровлей; провисание и вытягивание решётчатой затяжки из-под подхватов и опорных плит на расстояние более 0,3 м. При провисании решётчатой затяжки на 0,5 м и более требуется немедленное его устранение. Деформация элементов податливости анкерной крепи, наличие коррозионного износа анкерных стержней, шайб, гаек, решётчатой или сетчатой металлической затяжки также является причиной забраковки крепи и проведения восстановительных работ.

Инструменты для ультразвукового акустического неразрушающего контроля анкеров основаны на излучении упругого импульса, направленного в анкерный стержень, распространению его по анкеру и приеме отраженных от конца анкера сигналов [3,85]. Так, УЗ-низкочастотный дефектоскоп А1220 АНКЕР используется для диагностики анкерных болтов, диаметром 24-36 мм, и максимальной длины до 3,5 м (рис. 1.8). Улучшенная версия антенного анализатора упругого импульса MFJ-259С представлена на рисунке 1.9.



Рисунок 1.8 – Ультразвуковой дефектоскоп А1220 АНКЕР



Рисунок 1.9 – Антенный анализатор MFJ-259C

Оценка времени задержки отраженного сигнала прибором позволяет определить фактическую длину анкера. Недостатком данного метода является невозможность получения информации о степени сцепления анкера с массивом и его натяжении.

Система «Sentinel rock bolts» использует анкерные болты, оснащенные приборами контроля целостности. Эти приборы, независимо от типа (резистивного или оптоволоконного), предназначены для обнаружения вызванных разрушающими нагрузками или коррозией нарушений в медных или оптоволоконных анкерных болтах, установленных вдоль выработки с шагом 20 м. Сигналы о нарушении целостности крепления передаются из этих болтов на измеритель сопротивления [57].

Для контроля состояния горных выработок, закрепленных анкерной крепью, используются различные методы. Один из них включает определение типа кровли и предела прочности пород на сжатие. Также проводятся измерения и исследования трещиноватости слоев и прослоек, которые пересекаются скважиной в массиве пород кровли. Для этого используются эндоскопы. Контроль за деформационным состоянием горных пород осуществляется с помощью датчиков постоянного контроля деформации, таких как КДМ-1 и КДМ-2. Она предназначена для дистанционного контроля расслоения, отслоения и разрушения пород кровли, боков и почвы горных выработок, а также для деформирования шахтных целиков различного назначения.

Для проверки фактической несущей способности стержней анкерной крепи [16,34], используются штанговывергиватели типа ПКА-1, ПКА-3 и ВШГ-20 (рис. 1.10). Систематический контроль работоспособности анкерной крепи включает визуальную оценку состояния анкеров, подхватов, затяжки и смятия демпфирующих податливых элементов. Более качественный контроль всех участков выработок с различными горно-геологическими условиями и конструкциями анкеров, а также в местах с наиболее сложными условиями поддержания выработок обеспечивается установкой индикаторов давления, динамометров и глубинных реперов в отдельных скважинах (рис. 1.11).



Рисунок 1.10 – Приборы для испытаний анкерной крепи: а) ВШГ-20; б) ПКА-3; в) ПКА-1

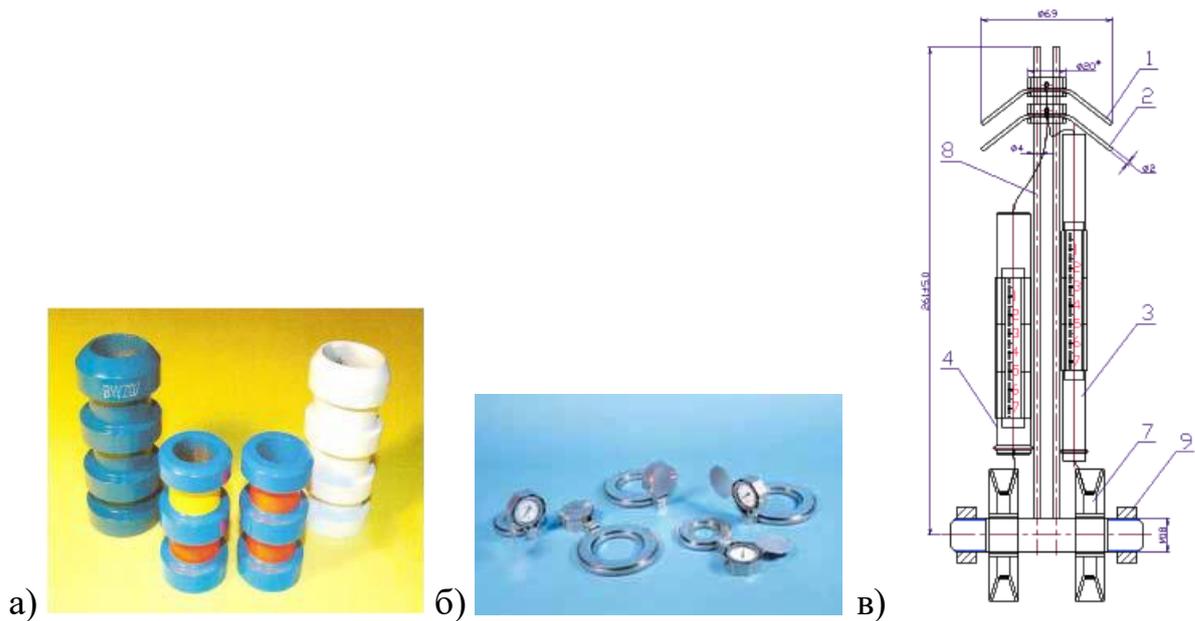


Рисунок 1.11 – Приборы для систематического контроля за состоянием анкерной крепи: а – индикатор давления ступенчатый; б – гидравлический динамометр; в – глубинный репер РГ-2

Устройства, изображенные на рисунке 1.11,а и называемые индикаторами давления, устанавливаются между гайкой анкера и опорной шайбой анкерной

крепи и деформируются при увеличении нагрузки на крепление. Они предназначены для контроля состояния горной выработки.

На рисунке 1.11,б изображены анкерные динамометры, которые также устанавливаются между гайкой анкера и опорной шайбой. Они используются для отображения нагрузки на анкерную крепь с помощью стрелочных указателей.

Глубинные реперы (рис.1.11,в) применяются для определения степени отслоения кровли выработки, закрепленной анкерной крепью, от вышележащего массива и расслоения кровли по всей длине анкеров. Принцип работы глубинных реперов основан на учете расстояния от глубинного репера до устья скважины при отслоении закрепленной кровли от вышележащего массива, расслоении и смещении.

Длительная прочность является важным свойством горных пород и определяет зависимость предела прочности пород от времени действия напряжений.

В работах проф. Г.Н. Кузнецова [41], М.М. Протоद्याконова [64], Г.Л. Фисенко [83], Мюллера [52] и других ученых было исследовано влияние трещиноватости на прочностные характеристики горных пород в массиве. Эти исследования предоставляют данные, которые устанавливают эмпирическую связь между параметрами выработки, трещиноватостью горных пород, характеристиками напряженного состояния массива горных пород и параметрами паспорта крепления горной выработки.

В работе [50] был принят период весьма устойчивого состояния T_p в качестве критерия для оценки устойчивости пород вокруг незакрепленной горной выработки. Горная выработка считается устойчивой, если технологический срок ее службы $T_{сл}$ меньше расчетного.

Для обеспечения безремонтного поддержания выработки на заданный срок службы, в случае если $T_p < T_{сл}$, выбирается способ охраны, который осуществляется путем применения следующих мероприятий: уменьшение пролета и/или площади поперечного сечения выработки; размещение сечения выработки таким образом, чтобы оно находилось в слабых породных прослоях; увеличение размера целика

между параллельными выработками для снижения их взаимного влияния; изменение угла сопряжения между пересекающимися или ответвляющимися выработками; использование анкерной крепи, разгрузочных щелей и разгружающих выработок.

Для того чтобы обеспечить устойчивость подготовительных выработок на панели в течение 4 лет, необходимо применять дополнительные меры охраны. Это объясняется тем, что технологический срок службы выработок превышает время, в течение которого они могут оставаться устойчивыми. Поэтому требуется возведение анкерной крепи.

Математическая модель зональной дезинтеграции в окрестности цилиндрической выработки построена А.И. Чанышевым и О.Е. Белоусовой [40,89] Авторами работы было выявлено, что появление зон дезинтеграции связано с нагружением горных пород и их запредельным деформированием. Согласно проведенных исследований, массив может начать разрушаться до достижения остаточной прочности. При определенных условиях область запредельного деформирования может разрушиться как единое целое, оторвавшись от основного массива пород.

По мнению Х.Б. Ли и его коллег [2,40], взрывы и проходка глубоких подземных выработок в прочных горных породах могут привести к горным ударам, расслоению и зональной дезинтеграции пород. Известно, что на большой глубине прочные горные породы испытывают высокие статические напряжения, вызванные гравитационными и тектоническими полями напряжений. После проходки выработки эти напряжения перераспределяются и сосредотачиваются в определенных зонах. Разрушение подземных горных пород также может быть вызвано динамической нагрузкой, например, массовыми взрывами.

Х.Б. Ли с соавторами [2,40] полагают, что горные удары, расслоение и зональная дезинтеграция горных пород связаны с проходкой глубоких подземных выработок в прочных горных породах. Они установили, что горные удары, расслоение и зональная дезинтеграция горных пород происходят в результате совместного воздействия статико-динамических нагрузок, которые испытывают

горные породы в процессе горных работ. Разгрузка массива также может вызывать расслоение пород, если сдвиговые напряжения превышают предел прочности на сдвиг, согласно критерию Кулона-Мора.

Анализ результатов численного исследования показывает, что разрушение горных пород при их разгрузке является результатом воздействия напряжений и скорости разгрузки. Эти параметры могут быть описаны эквивалентной плотностью энергии деформации. Кроме того, авторы предложили новый метод определения местоположения микросейсмического источника, не требующий учета скорости звуковой волны в горных породах твердеющей смесью. Этот метод позволяет эффективно и точно определить условия разрушения как прочных, так и хрупких горных пород.

Авторы [58] предложили способ неразрушающего определения качества установки анкерной железобетонной крепи в скальных породах. Он основывается на определении коэффициента, который отражает качество заполнения пространства между анкером и скальной породой. Для этого используется электроизмерительный прибор, который позволяет последовательно измерять электрическое сопротивление между анкером и несколькими электродами.

Анализируя данные извлечения анкеров АК01 и проведенные шахтные испытания, было обнаружено, что максимальная нагрузка, которую они выдержали, составляла 75 и 125 КН. Однако, в первом опыте использовалось всего 2 ампулы для закрепления анкера, в то время как во втором опыте использовалось целых три ампулы АМК. В дальнейших опытах, проведенных через 9 и 44 суток после установки анкеров, сила, с которой анкеры были извлечены, выросла до 170 и 210 КН. Эти результаты позволяют сделать вывод, что самым уязвимым элементом крепи является узел закрепления анкера в шпуре, так называемый замок.

Авторы [12] провели лабораторные и шахтные испытания, чтобы подтвердить, что для поддержания горных выработок на большой глубине в горных породах с крепостью 3-4 единицы по шкале проф. М.М. Потодьяконова, требуется использование анкеров с определенными характеристиками. Для различных анкеров при достижении максимальных значений диапазона времени

разрывное усилие составляет: АКМ20.01-05-175-185 кН, АКМ20.01 - 130 кН, АК01 - 210 кН. Податливость анкеров до момента разрыва также различается: АКМ20.01-05-55 - 100 мм, АКМ20.01-100-135 мм, АК01 - 95 мм. Значения податливости анкеров в указанном диапазоне стремятся к минимальным значениям с течением времени.

Сталеполимерные и канатные анкера, в сочетании с ампулами из минеральной композиции, могут быть использованы с достаточной эффективностью в случае применения их в горных породах с крепостью 3-4 по шкале проф. М.М. Протодяконова.

Оценка особенностей горно-геологического состава и строения массива горных пород, предотвращение затопления горных выработок, контроль за значениями смещений, развитии расслоения и трещиноватости приконтурных слоев кровли, а также проявлениями деформаций пород в боках выработок – важные аспекты безопасного поддержания подземных горных выработок. Установление безопасной анкерной крепи, защита от техногенного воздействия на рудопородный массив и элементы крепления, а также минимизация воздействия сейсмических и ударных воздушных волн, включая промышленные взрывы, также требуют особого внимания для обеспечения длительной безопасности выработок.

Исследование процессов деформирования и разрушения подземных конструкций играет важную роль в разработке запасов полезных ископаемых в сложных условиях при переходе на большие глубины. При этом основное внимание следует уделять задачам, связанным с оценкой состояния анкерной крепи, уточнением параметров крепления горных выработок и совершенствованием конструкций анкерной крепи. Также необходимо разработать эффективные технологические решения для сохранения работоспособности анкерной крепи в условиях высокой относительной влажности, агрессивной среды и обводненных пород. Все это необходимо для обеспечения безопасности при подземной разработке месторождений с предотвращением прорыва подземных пресных вод в горные выработки.

Развитие методологии крепления подземных выработок и оценки состояния анкерной крепи является актуальной задачей, о чем говорит все вышеперечисленное.

1.5 Цель, задачи и методы исследования

Как показывает практика, анкерная крепь может применяться в различных условиях и для разных целей. Важнейшей проблемой безопасного длительного поддержания подземных горных выработок является оценка влияния техногенного воздействия на рудопородный массив и элементы крепления горных выработок для исключения их затопления, снижения воздействия сейсмических и ударных воздушных волн от массовых промышленных взрывов.

В действующих нормативных документах крайне слабо регламентируется порядок и методика проведения научно-исследовательских работ по оценке работоспособности элементов анкерной крепи и деформаций рудопородного массива, подвергшихся воздействию влаги и сейсмических волн при длительном поддержании выработок. Вопрос обеспечения работоспособности крепи горных выработок, поддерживаемых в различных условиях среды освоения недр, является одним из основных в горнодобывающей отрасли.

Целью исследования является обоснование параметров анкерных крепей на основе установления закономерностей деформирования системы «крепь-массив» во времени в слоистых массивах пород соляных месторождений для обеспечения эксплуатационной надежности крепи и устойчивости горных выработок.

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

- анализ и обобщение опыта крепления горных выработок анкерной крепью;
- исследование требований к возведению анкерной крепи в особо сложных горно-геологических и горнотехнических условиях и оценка влияния горно-

геологических и горнотехнических условий на состояние и несущую способность крепи;

- усовершенствование и обоснование рациональной конструкции и методики выбора технологических параметров усовершенствованной анкерной крепи;

- разработка технологических рекомендаций по совершенствованию технологии возведения, эксплуатации и параметров анкерной и усовершенствованной крепи и оценке их экономической эффективности.

Методология и методы исследования. Полученные результаты диссертационной работы подтверждены выполненным анализом источников научно-технической информации по тематике исследования, проведенными лабораторными экспериментами и опытно-промышленными испытаниями в шахтных условиях, использованием математического моделирования геомеханического состояния массива горных пород, теории вероятностей, проведением корреляционного и регрессионного анализов, а также выполнением технико-экономических расчетов.

Теоретическая и методическая база исследования сформирована на основе авторитетных мнений и экспертных заключений, отраженных в различных диссертационных работах, методических исследованиях, научных публикациях, отраслевых нормативных документах, выступлениях на тематических конференциях и пр.

Для оценки несущей способности крепи в различных горно-геологических условиях разработки Гремячинского месторождения была разработана методика проведения натуральных шахтных испытаний с использованием специального оборудования для оценки несущей способности крепи методом выдергивания анкера из закрепленного массива, описанного во 2 главе настоящей диссертации.

Для обеспечения требуемой несущей способности анкерной крепи при установке ее в низкопрочных соляных и слоистых породах с включениями галита были усовершенствованы и испытаны в шахтных условиях инновационные конструкции усовершенствованной анкерной крепи, принцип работы которой и результаты шахтных испытаний приведены во 2 и 3 главах диссертации.

Обоснование условий нагружения усовершенствованного анкера в слоистом массиве разнопрочных пород было проведено в соответствии с выдвинутой гипотезой о необходимости учета при выборе конструкции и параметров крепи особенностей деформирования массива соляных пород. Эта гипотеза проверена на данных геомеханического моделирования условий совместного нагружения усовершенствованного анкера со вставкой с иными деформационными свойствами и слоистого массива с включениями слабых соляных пород – галита и подкровельного слоя сильвинита в соответствии с результатами натуральных испытаний. Методика проведения геомеханического моделирования состояния закрепленного массива ослабленных слоистых пород за контуром выработки представлена в 3 главе диссертации.

На основании результатов выполненных исследований разработаны технико-технологические рекомендации по обеспечению устойчивости глубокозалегающих подземных выработок, апробированные в натуральных условиях Гремячинского подземного рудника.

2 РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СОЛЕЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

2.1 Систематизация видов, конструкций, условий применения и основные параметры анкерной крепи, определяющие устойчивость горных выработок

Анкерная крепь – это конструкция, включающая анкер, опорную шайбу и подхват и обеспечивающая упрочнение массива горных пород и повышение устойчивости контура горной выработки (обнажений) за счет скрепления слоев и структурных блоков для увеличения срока эксплуатации выработки без необходимости проведения дополнительного ремонта крепи.

Различают анкерные крепи с закреплением анкеров в призабойной части шпура или скважины (точечное закрепление) с помощью различных механических замков, либо по всей длине или значительной части скважины (сплошное закрепление) химическими составами на основе синтетических смол, цементных (песчано-цементных) растворов, с помощью энергии взрыва.

Рассмотрим основные виды анкерной крепи.

Металлический клинощелевой анкер. Данный вид анкера достаточно прост в конструктивном исполнении и достаточно надежен в эксплуатации (рис. 2.1).

Комплект такого анкера состоит из стержня с резьбой на одном его конце и прорезью на другом, клина, опорной шайбы и гайки. Анкер вставляют в шпур, диаметр которого несколько больше стержня анкера. Под действием ударов, наносимых по наружному концу анкера, он заглубляется в шпур, при этом его замковая часть расширяется и раскрепляется в стенки шпура. Затем на выступающий конец анкера надевают шайбу и завинчивают гайку с некоторым натяжением анкера.

К достоинствам клинощелевых анкеров относится их достаточно высокая несущая способность в крепких породах, простота конструкции и установки, относительно небольшая стоимость.

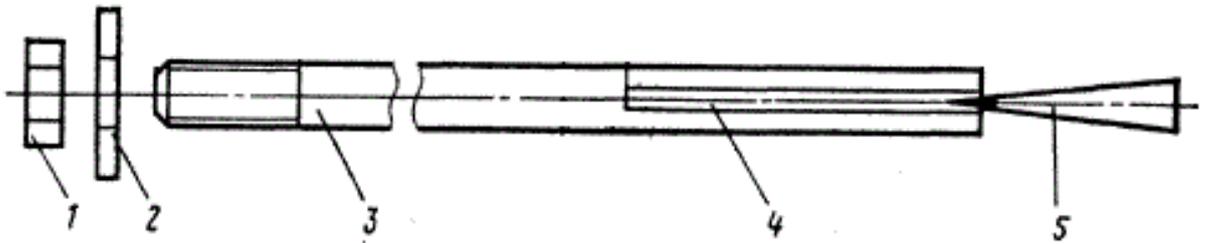


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема конструкции клинощелевого анкера: 1 – клин, 2 – опорная шайба, 3 – стальной стержень анкера, 4 – прорезь в стержне, 5 – гайка

Одними из перспективных видов анкерной крепи являются *сталеполимерные анкеры*. Армирующий стержень такого анкера закрепляется в шпуре быстротвердеющими синтетическими смолами (рис. 2.2).

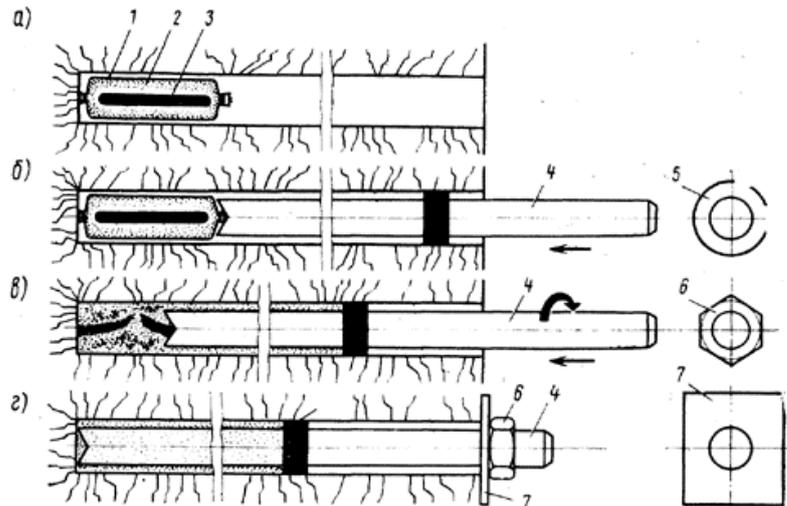


Рисунок 2.2 – Схема установки сталеполимерного анкера: а) введение в конец шпура ампулы-патрона с закрепляющим составом; б) введение в шпур анкерного стержня; в) вращение анкерного стержня с целью разрушения ампулы-патрона и перемешивания закрепляющего состава, досылка стержня до дна шпура; г) анкер в рабочем положении; 1 – полиэтиленовая ампула-патрон с закрепляющим составом; 2 – смесь связующего (смолы) и наполнителя (песка); 3 – отвердитель, заключенный во внутреннюю полиэтиленовую или стеклянную оболочку; 4 – анкерный стержень; 5- уплотняющая шайба; 6 – натяжная гайка; 7 – плоский опорный элемент

В настоящее время широко применяют патронированный способ использования синтетических составов, при котором закрепляющую смесь вводят в шпур в ампулах-патронах из целлюлозы, стекла или полиэтилена.

Армирующий стержень анкера выполнен из стали периодического или гладкого профиля со скошенным концом. При вращении или забивании анкера

скошенный конец стержня разрывает оболочку с закрепляющим составом и перемешивает его. При этом обеспечивается высокая степень сцепления стержня с породой.

Анализ практики применения сталеполимерных анкеров для крепления соляных пород определил весьма низкую адгезию солей и полимерных смол, что явилось основанием для отказа использования сталеполимерных анкеров при обработке соляных месторождений.

Широкое применение получили *железобетонные набивные анкеры*, которые могут быть использованы в большом диапазоне инженерно-геологических условий (рис. 2.3).

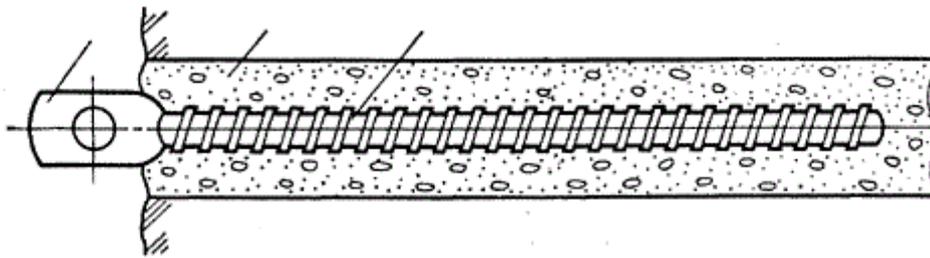


Рисунок 2.3 – Конструкция железобетонного анкера: 1 – стержень из арматурной стали; 2 – цементный раствор; 3 – хвостовик с проушиной для крепления сетки

Железобетонный набивной анкер состоит из стержня, изготовленного из арматуры периодического профиля с проушиной на конце. Стержень устанавливают в шпур, диаметром 42 мм, предварительно заполненный цементно-песчаным раствором.

Полимерный анкер предназначен для крепления кровли и боков горных выработок и состоит из полимерной композиционной трубки, диаметром 19-20 мм, цилиндрической армополимерной муфты с внешней резьбой, армополимерной гайки и опорной плитки из полимера (рис. 2.4).

Полимерная анкерная крепь по сравнению с известными конструкциями крепей аналогичного назначения, например, сталеполимерной, обладает рядом преимуществ: неподверженность коррозии; податливость до 50 мм без установки дополнительных демпфирующих элементов; малый вес; искробезопасность при установке (отсутствует фрикционное искрение); возможность применения в качестве опережающей крепи в очистных и подготовительных забоях (элементы

анкерной полимерной крепи легко срезаются исполнительными органами комбайнов, а разрушенные фрагменты не препятствуют работе конвейеров и другого оборудования); низкий риск травмоопасности (исключается поражение электрическим током через элементы анкерной крепи; минимизация риска получения травм при неосторожном выполнении работ); относительная экономичность.

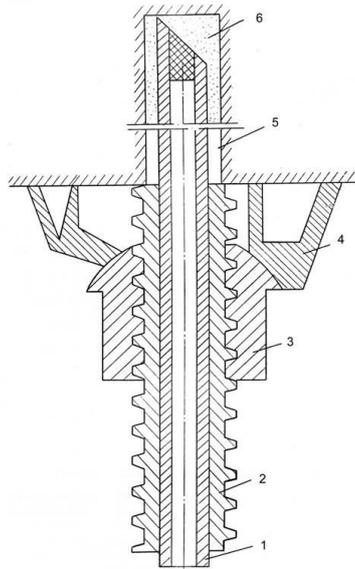


Рисунок 2.4 – Конструкция анкерной полимерной крепи: 1 – композиционная трубка внутренним диаметром 10 мм, наружным – 20 мм; 2 – армополимерная муфта длиной 150 мм с наружной трапецеидальной резьбой, внешним диаметром 45 мм, внутренним – 32 мм, с шагом установки – 12 мм; 3 – армополимерная полусферическая гайка, высотой 60 мм; 4 – полимерная опорная плитка высотой 45 мм, с диаметром основания – 125 мм; 5 – шпур диаметром 28-32 мм; 6 – полимерный состав для закрепления анкера в шпуре

Стеклопластиковый анкер служит для крепления горных пород и изготавливается из стекловолоконного материала, имеет высокую прочность на растяжение. Закрепляется на шпурах с помощью ампул или составов из полимера.

Преимущества его применения: высокая прочность на растяжение; стойкость к коррозионным средам; малый вес; не мешают процессам выемки угольных пород исполнительными органами очистных и проходческих комбайнов; бурение углублений (шпуров) и установка этих деталей анкера производится аналогично схемам установок иных анкеров, например, сталепolyмерных, безопасное применение, так как нет металла, полностью исключается вероятность

фрикционного искрения; простота, удобство и надежность установки анкера.

Анкер фрикционного типа закрепления представляет собой трубчатый анкер из специальной стали, с профилем в форме буквы «С», изготавливается в комплекте с шайбой, которая устанавливается в шпур меньшего диаметра, чем диаметр анкера, что вызывает передачу нагрузки от металла на горный массив по всей длине анкера. Анкера, работая на растяжение, удерживают закрепленные породы и препятствуют отслоению, сдвигу и обрушению. Трубчатая фрикционная анкерная крепь по характеру взаимодействия с породами представляет собой анкерную крепь с закреплением по всей длине шпура (рис. 2.5).

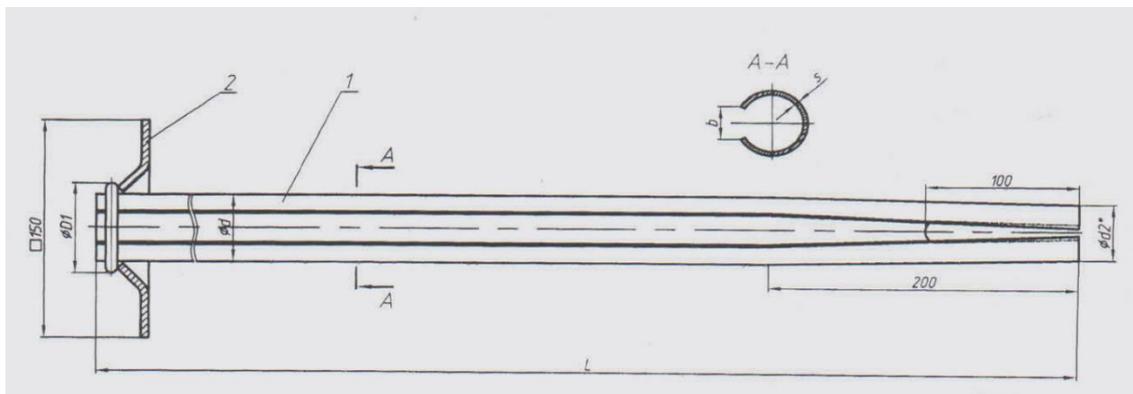


Рисунок 2.5 – Фрикционный анкер: 1 - стержень анкера, 2 - опорная плита

Преимущества применения анкеров фрикционного типа: набор несущей способности сразу после установки; закрепление по всей длине шпура; возможность установки как при помощи буровой установки, так и при помощи ручных перфораторов.

Вышеприведенные конструкции наиболее распространенных видов анкерной крепи были бы неполные без описания **самозакрепляющейся анкерной крепи фрикционного типа**. Особенностью этих видов крепей является их распор в массиве горных пород непосредственно в ходе установки анкера и за счёт этого набор несущей способности системы «СЗА-массив вмещающих пород-опорная плита-металлический армокаркас». Постоянное совершенствование конструкции крепи с адаптацией к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям освоения месторождений, усовершенствование типа покрытий крепей СЗА в промышленных условиях предопределяет широкую область применения

этого вида крепей, особенно в агрессивных средах в условиях укрепления неоднородных разнопрочных и разномодульных пород. Обобщение и систематизация видов анкерных крепей, их конструктивных особенностей, условий возведения и применения в ходе подземной разработки месторождений твёрдых полезных ископаемых приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Систематизация видов и условия закрепления и применения анкерной крепи

№ п/п	Вид крепей	Конструктивные особенности	Условия закрепления	Условия применения
1	2	3	4	5
1	Металлический клинощелевой анкер	Представляет собой металлический стержень с резьбой, опорной шайбой на одном конце и на другом – прорезь со вставленным в нее расширяющимся клином	При ударе на стержень замковая часть в клине расширяется в стенке шпура	Применяется в крепких породах, обеспечивая высокую несущую способность, простота конструкции, изготавливается только в заводских условиях с высокими требованиями к чистоте и ровности поверхности, определили широкую область применения и низкую стоимость
2	Сталеполимерный анкер	Армирующий металлический стержень анкера закрепляется в шпуре быстротвердеющими полимерными смолами. Закрепляющая смесь вводится в шпур в ампулах со смолой, наполнителем и отвердителем.	При вращении или забивании анкера стержень разбивает оболочку с составом смолы и отвердителя, перемешивает его, обеспечивая высокое сцепление стержня с породой	При применении полимерных смол в соляных породах формируется весьма низкая адгезия солей и полимерных смол, что сдерживает применение этого типа анкеров при разработке соляных месторождений
3	Железобетонный набивной анкер	Состоит из металлического стержня, изготовленного из арматуры с пружиной на конце	Стержень устанавливается в шпур, предварительно заполненный цементно-песчаным раствором. Несущая способность анкера определяется сцеплением стержня анкера с цементным раствором, адгезией цементного состава с вмещающими породами и прочностью металлического стержня на растяжение	Простота конструкции, высокая несущая способность и долговечность предопределяет использование в широком диапазоне инженерно-геологических условий

1	2	3	4	5
4	Полимерный анкер	Состоит из полимерной композиционной трубки, цилиндрической армополимерной муфты с резьбой, армополимерной гайки и опорной плиты из полимера	Низкий вес крепи, малая трудоемкость возведения определяет возможность использования в очистных и подготовительных забоях в качестве опережающей крепи.	Крепь не подвергается коррозии, обладает высокой податливостью, не требует демпфирующих элементов, элементы легко срезаются исполнительными органами комбайнов, низкий риск травматизма, относительно экономична, но имеет относительно короткий срок службы и не высокую несущую способность
5	Фрикционный клинораспорный анкер (КРА)	Представляет собой трубу из специальной стали, имеющей ... виде буквы «С», соединенную с шайбой меньшего диаметра, чем диаметр анкера, что обеспечивает передачу нагрузки от анкера на горный массив, формируя единую систему «анкер-крепь», препятствуя отслоению, сдвигу и разрушению	Устанавливается в укрепленный массив, обеспечивая закрепление по всей длине шпура. Возможна установка анкера при помощи буровой установки или ручного перфоратора	Набор несущей способности сразу после установки анкера обеспечивает повышение устойчивости обнажения. Применяется для укрепления прочных, трещиноватых пород
6	Самозакрепляющийся анкер фрикционного типа	Представляет собой металлический трубчатый стержень с продольной прорезью, соединенный с опорной плитой цилиндрической втулкой. комплектуется с армокаркасом из металлической сетки	Анкер вставляется с помощью ручного перфоратора или буровой каретки в шпур меньшего диаметра, чем диаметр анкера и закрепляется в породах за счет раскрытия при использовании упругих свойств металла стержня анкера	Характеризуется высокой производительностью и низкой трудоемкостью возведения и эксплуатации в прочных трещиноватых породах. За счет специальных покрытий, нанесенных в промышленных условиях, имеют высокую износостойкость в агрессивных средах
7	Усовершенствованная самозакрепляющаяся конструкция анкер	Базовая конструкция самозакрепляющегося анкера сохранена, но дополнительно включен замок, закрепляющийся в зоне относительно устойчивых пород, и имеет вставки в виде деревянных пробок или металлического клина, что обеспечивает укрепление анкера в низкопрочных слоистых массивах	При установке требуется тщательный контроль длины шпура, исключаяющий перебур, и диаметра шпура, особенно вблизи устья, для обеспечения надежного закрепления пород в «якоре»	Несмотря на некоторое удорожание себестоимости изготовления анкера, отмечена экономия крепления за счет повышения несущей способности анкера при креплении слоистого массива с включениями соляных пород

Особенностью и преимуществом представленной в таблице 2.1 систематизации является, наряду с определением конструктивных преимуществ и условий закрепления анкеров в массиве горных пород каждого вида крепи, конкретизация условий и области предпочтительного их применения, что позволяет при проектировании рудников и определении плана развития горных работ и уточнения паспорта крепления горных выработок выбрать предпочтительный вариант.

Результаты испытаний несущей способности, эксплуатационных характеристик различных видов анкерной крепи и принципы совершенствования её конструкции будут рассмотрены в третьей главе настоящей диссертации.

2.2 Факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи

При проходке и креплении выработок анкерной крепью необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики анкерного крепления, а именно:

–обеспечение контроля за режимом работы анкерной крепи горных выработок с проведением соответствующих испытаний в реальных условиях их возведения и эксплуатации;

–осуществление выбора 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.

В качестве основных факторов, оказывающих непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики анкеров, рассматриваются: горно-геологические условия закрепляемых пород; глубина заложения анкера;

диаметр шпура в соотношении с диаметром стержня и способом установки; материал стержня и цементирующей смеси.

Наиболее значимыми факторами, определяющими устойчивость горных выработок, располагаемых в соляных породах, являются:

- предел прочности пород на сжатие и растяжение;
- поперечные размеры выработок, их форма и способ проходки;
- расположение сечения выработки относительно залегания весьма хрупких трещиноватых пород;
- расположение сечения выработки относительно слабых прослоек пород;
- наличие в массиве близрасположенных выработок и их сопряжений;
- размеры междуштрековых целиков.

Для повышения устойчивости протяженных горных выработок, располагаемых в соляных породах, целесообразно использовать следующие технические решения:

- рационально располагать сечение выработки относительно промышленного пласта и вмещающих пород;
- придавать кровле выработки арочную форму;
- обеспечивать минимально допустимый размер выработки по ширине;
- крепить выработку облегченными видами крепи;
- применять компенсационные щели.

Протяженные горные выработки в условиях соляных пород Гремячинского месторождения могут быть закреплены:

- анкерной крепью;
- комбинацией анкерной крепи с металлической сеткой;
- комбинацией анкерной крепи с подхватами;
- комбинацией анкерной крепи с металлической сеткой и подхватами;
- комбинацией арочной и анкерной крепи с металлической сеткой.

Анкерная крепь предназначена для повышения устойчивости обнажений массива в горных выработках, благодаря скреплению различно

деформируемых зон, слоев или породных блоков. Она армирует породный массив в зоне, непосредственно примыкающий к выработке, и, используя несущую способность пород, примыкающих к контуру выработки, создает несущую систему «крепь-порода».

Этот вид крепи может применяться в качестве временной или постоянной крепи в комбинации с другими видами крепи (металлической арочной из профиля СВП, металлической сетки, подхватов).

Анкерная крепь повышенной несущей способности (АКП) применяется в качестве дополнительного способа крепления в уже закрепленных анкерной крепью выработках при появлении в них признаков разрушения: прогиба кровли, трещин, разрушения козырьков и берм, или после выполнения ремонтных работ по оборке деформированных пород по контуру выработки.

АКП предназначена для подвешивания на канатных или арматурных элементах слабоустойчивых пород кровли, находящихся в зоне возможного обрушения, высота которой превышает максимальную длину традиционно используемых анкеров.

Металлическая арочная крепь из профиля СВП типа КМП может применяться с деревянной затяжкой или с гибким ограждением из металлической сетки или стеклотканевого материала. Выбор типа и расчет параметров крепи горизонтальных и наклонных выработок в соляных породах производится в зависимости от категории устойчивости пород с учетом степени воздействия других выработок.

В качестве критерия при определении категорий устойчивости пород следует принимать величину их расчетного смещения U на контуре поперечного сечения выработки в кровле, почве, боках за весь срок эксплуатации выработки без учета усилий и времени воздействия нагрузки крепи на массив.

В качестве основных исходных данных для определения устойчивости пород в окрестности выработки по величине смещений U ее породного контура принимаются:

- геологическое строение приконтурных пород в пределах размеров зоны возможного разрушения – h_3 , м;

- глубина расположения выработки – H , м;

- расчетное сопротивление пород сжатию – R_c , МПа.

Размер зоны возможного разрушения пород h_3 (м) определяется по методике оценки размеров нарушенной зоны вокруг контура незакрепленной горной выработки.

По категории устойчивости пород выработки осуществляется предварительный выбор типа и конструкции крепи, способов ее охраны.

Выбор способов охраны и крепления горизонтальных и наклонных горных выработок в соляных породах производится в зависимости от категории устойчивости пород. В таблице 2.2 приведена обобщающая характеристика состояний устойчивости соляных пород, в таблице 2.3 систематизированы рекомендуемые способы охраны и крепления горных выработок в зависимости от категории устойчивости пород.

В качестве основного способа крепления горных выработок в условиях соляных пород Гремячинского месторождения рекомендуется рассматривать анкерную крепь.

Таблица 2.2 – Обобщающая характеристика состояний устойчивости соляных пород

Смещение U , мм	Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Характеристика состояния пород
1	2	3	4
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

Смещение U , мм	Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Характеристика состояния пород
1	2	3	4
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

Для исключения вывалов отдельных кусков породы между анкерами при породах кровли выработки II-IV категорий устойчивости возможно применение металлической (полимерной) сетки.

В породах кровли выработки III-IV категорий устойчивости в качестве способа крепления может применяться комбинация анкерной крепи с подхватами и металлической сеткой.

Металлическую арочную крепь из профиля СВП типа КМП рекомендуется использовать в следующих случаях:

- залегание в кровле выработки пород с расчетным сопротивлением сжатию R_c менее 20 МПа;
- проходка выработки в карналлитовых породах.

Таблица 2.3 – Рекомендуемые способы охраны и крепления горных выработок

Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Вид крепи	Способ охраны
1	2	3	4
I	Устойчивое	Анкерная крепь	Рациональное расположение
II	Среднеустойчивое	Анкерная крепь; анкерная крепь с металлической сеткой	Рациональное расположение; рациональная форма и размеры поперечного сечения

Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Вид крепи	Способ охраны
1	2	3	4
III	Неустойчивое	Анкерная крепь; анкерная крепь с металлической сеткой; анкерная крепь с подхватами и металлической сеткой; арочная крепь	Рациональное расположение; рациональная форма и размеры поперечного сечения; компенсационные щели; оборка кровли, зачистка почвы
IV	Очень неустойчивое	Анкерная крепь; анкерная крепь с металлической сеткой; анкерная крепь с подхватами и металлической сеткой; арочная крепь	Рациональное расположение; рациональная форма и размеры поперечного сечения; компенсационные щели; оборка кровли, зачистка почвы

В случае принятия решения о возведении арочной крепи, до возведения арочной крепи выработка должна предварительно закрепляться анкерной крепью. При наличии в кровле карналлитовых пород анкерную крепь необходимо использовать в сочетании с металлической (полимерной) сеткой.

Для пород почвы, боков выработки в породах II-IV категории устойчивости рекомендуется применять следующие способы охраны:

- рациональное расположение выработки;
- проходку компенсационных щелей.

Таким образом, основными факторами, влияющими на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи, являются категория устойчивости вмещающих выработку горных пород, вид применяемой крепи, характеристика структурной нарушенности и напряженно-деформированного состояния массива горных пород, степень влияния других выработок, сопряжений и иных технологических воздействий.

2.3 Специфика горно-геологических и горнотехнических условий разработки Гремячинского месторождения, определяющая выбор типа крепи

По степени сложности геологического строения Гремячинское месторождение калийных солей отнесено к 1-й группе, что определяется выдержанным по площади распространением основного сильвинитового пласта, его слабой тектонической нарушенностью, умеренно высокой изменчивостью содержаний полезных компонентов и вредных примесей. Недропользователю на дальнейших стадиях ведения работ рекомендовано учесть возможность усложнения геологического строения месторождения в центральной его части.

В границах соленосной толщи калийная залежь плавно погружается в северо-восточном направлении с преобладанием волнистого и куполообразного строения пласта в центральной части шахтного поля. В границах проектируемой первоочередной добычи кровля пласта залегает между гор. -891 м и -1191 м., плавно погружаясь на флангах шахтного поля и образуя несколько сводовых поднятий в его центральной части.

Нижнепермские отложения распространены по всей площади месторождения и представлены ассельским, сакмарским, артинским и кунгурским ярусами:

Кунгурский ярус представлен доломитами, каменной солью, ангидритами, а также калийными и калийно-магниевыми солями с небольшой примесью терригенного материала. В его пределах залегает галогенная толща, мощность которой колеблется от 175 до 413 м. Эта толща подразделяется на пять ритмопачек: погожская, антиповская, пигаревская, долинная и ерусланская. Каждая из них в нижней части сложена ангидритами и доломитами, а в верхней - преимущественно каменной солью.

Вмещающая сильвинитовый пласт толща содержит в себе (снизу-вверх) следующие пласты: базальный ангидритовый ($m=1,8-18$ м), галитовый ($m=10-$

55 м), калийно-магниевых солей ($m=4-20$ м), сильвин-галитовый (2,0-15 м). В отсутствие сильвин-галитового слоя сильвинитовая залежь подстилается непосредственно карналлит-галитовым слоем. Мощность сильвинитового пласта изменяется от 2,0 до 20,7 м. На большей части шахтного поля мощность сильвинитового пласта колеблется от 6 до 10 м, увеличиваясь в центральной части до 15-20 м и уменьшаясь на северо-востоке и юго-западе до 2,5-4,0 м. Общая мощность погожской ритмопачки составляет от 54 до 137 м.

В непосредственной кровле сильвинитового пласта залегает слой каменной соли, мощностью от 0,6 до 5 м. В почве сильвинитового пласта расположены сильвин-галитовый или карналлит-галитовым слои, мощностью до 10–15 м. В качестве водозащитной толщи выступают каменная соль и галит-ангидритовые образования кунгурского яруса, которые изолируют калийный продуктивный пласт от вышележащих подземных вод. Верхняя граница водозащитной толщи (ВЗТ) принята по кровле первого сверху слоя каменной соли, мощностью 15 м (рис. 2.6) [77].

Согласно [27], шахтное поле Гремячинского месторождения отнесено к угрожаемым по внезапным выбросам соли и газа и к опасным по горючим газам.

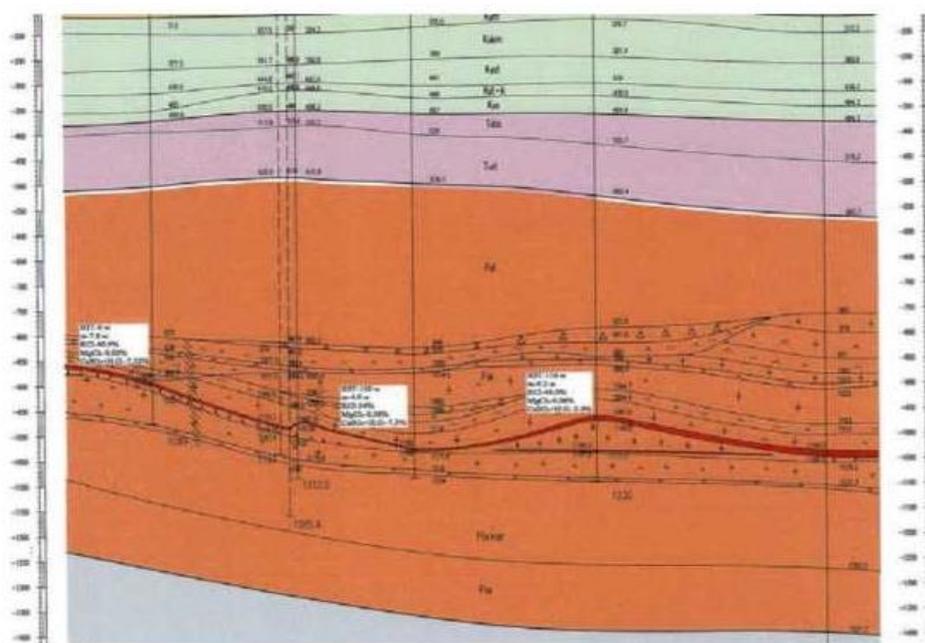


Рисунок 2.6 – Общая схема геологического строения соленосной толщи Гремячинского месторождения

Соленасыщенные разности пород в большинстве случаев отличаются не только низкими численными значениями характеристик хрупкости, но и рядом специфических форм, преимущественно пластического характера деформирования: более мягким характером разрушения, отсутствием резких перепадов давления в нагрузочных устройствах, отсутствие явлений спонтанного «взрывообразного» процесса хрупкого разрушения при достижении предела прочности.

Наиболее вероятными местами скоплений свободных газов являются следующие геологические структуры: локальные зоны замещения сильвинитовых слоев каменной солью и глиной; участки интенсивного смятия сильвинитового пласта в осевых частях крупных складок или флексуорообразных перегибов; участки развития антиклинальных складок, высотой от 3 до 10-12 м, шириной от 20 до 100 м, длиной до 300 м; участки развития эпигенетических изменений в межпластовой каменной соли, разделяющей верхнюю сильвинитовую пачку и среднюю пачку смешанных солей, представленных прослоями и отдельными блоками шпатовой каменной соли; тектонические трещины (залеченные и открытые); зоны тектонических нарушений (сдвигов, взбросов, взбросо-сдвигам) и области их динамического влияния; границы тектонических блоков, признаками которых могут служить зоны развития трещиноватости, линейно вытянутые зоны перекристаллизации солей, присутствие тектонитов в виде глыб пород, не характерным данному геологическому разрезу; зоны разрывов (разломов) слоя каменной соли, залегающей в почве верхней сильвинитовой пачки [27].

Изучение гидрогеологических условий Гремячинского месторождения калийных солей проводилось на всех этапах выполнения геологоразведочных работ. В результате гидрогеологических исследований были изучены водоносные горизонты, определены их водообильность и фильтрационные свойства, условия формирования (питания, транзита и разгрузки), взаимосвязи их характеристик, а также вещественный состав подземных и поверхностных вод с определением типа вод по составу и величине минерализации,

агрессивности к бетону, степени изоляции продуктивной залежи естественными водоупорами со стороны кровли и почвы.

Отложения, подстилающие калийный горизонт (соляная толща кунгурского яруса и ангидрит-доломитовая толща артинского яруса нижней перми), представляют собой монолитный комплекс без явно выраженной трещиноватости и, согласно полученным результатам, практически безводных.

Гидрогеологические условия месторождения - сложные. Это связано, в основном, с пестрым литологическим составом надсолевой толщи, содержащей несколько водообильных горизонтов в зоне активного водообмена и наличием обводненных песчаных разностей, спорадически распространенных в зоне затрудненного водообмена.

Уникальное геологическое строение массива пород Гремячинского месторождения определило выбор технико-технологических решений при разработке уникального по масштабам распространения сильвинитового пласта на больших глубинах.

В общем виде этапы строительства Гремячинского ГОКа связаны с реализацией проектных решений, включая:

- ввод рудника в эксплуатацию;
- выход рудника на проектную производительность;
- ввод гидрозакладочного комплекса в эксплуатацию;
- выход гидрозакладочного комплекса на проектную производительность.

Как указано ранее, учитывая сложные гидрогеологические и горнотехнические условия разработки Гремячинского месторождения, обязательным условием его безопасной и безаварийной эксплуатации является сохранение сплошности и водонепроницаемости толщи водоупорных пород (ВЗТ), изолирующей выработанное пространство подземного комплекса от напорных горизонтов. Возникновение трещин, соединяющих водоносные горизонты и выработки рудника, это приводит к водопитоку в рудник и его

затоплению. Выбор применяемой системы разработки на Гремячинском месторождении произведен с учетом необходимости обеспечения сохранности ВЗТ на весь срок эксплуатации рудника, повышения полноты извлечения полезного ископаемого из недр и технико-экономической эффективности реализации проекта.

По результатам научно-исследовательской работы [74] установлено, что сплошная или камерно-столбовая системы разработки не могут быть применены для условий Гремячинского месторождения. Таким образом, для отработки запасов калийных солей Гремячинского месторождения проектными решениями предусмотрена камерная система разработки с оставлением междукамерных и барьерных разгружающих целиков. Геомеханическое сравнение приемлемых в условиях Гремячинского месторождения вариантов систем разработки [74] показало, что применение «жестких» равнопрочных ($[C] \leq 0,4$) целиков без закладки или с закладкой, не являющейся конструктивным элементом системы разработки, достаточно эффективно обеспечивает сохранность ВЗТ, время службы целиков может измеряться десятками и даже сотнями лет, однако, приводит к соответствующему увеличению размеров целиков и значительному экономическому ущербу, заключающемуся в увеличении эксплуатационных потерь полезного ископаемого, что влечет за собой соответствующие санкции надзорных и налоговых органов. Если же размеры целиков недостаточны, то, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, несущие элементы системы разработки могут деформироваться с различными скоростями, поочередно терять устойчивость и разрушаться.

Одним из основных критериев при выборе параметров камерной системы разработки является степень нагружения опорных междукамерных (МКЦ) и барьерных (БРЦ) целиков. При применении закладки выработанного пространства, как конструктивного элемента системы отработки, при степени нагружения междукамерных целиков не более 0,4 и барьерных целиков - не

более 0,54, степень извлечения калийных солей повышается в среднем до 35%, при ширине камеры 6 м.

Вскрытие Гремячинского месторождения осуществлено тремя вертикальными стволами, диаметром по 7,0 м: двумя скиповыми (СС1 и СС2) и одним клетевым (СК1) с расположением промплощадки и стволов у юго-восточной границы шахтного поля. Глубина проходки скиповых стволов - 1147 м (до гор. -1012 м), клетевого -1115 м (до гор. - 980 м).

Выработки околоствольного двора и камеры служебного назначения пройдены буровзрывным способом в толще ангидрит-доломитовых пород на отм. - 953 м. Ширина выработок – 4,4 м, высота – 3,9 м. Они закреплены усиленной анкерной крепью с металлической сеткой и набрызгбетоном.

Проектными решениями предусмотрено разделение шахтного поля рудника на три гидроизолируемые части: западную, восточную и центральную. Выбран пластовый способ подготовки шахтного поля. Расположение капитальных выработок предусмотрено в предохранительных целиках. Панельно-блоковая схема подготовки шахтного поля, порядок отработки поля – прямой, порядок отработки панелей – обратный (последовательная отработка камер в направлении от выработанного пространства на массив – от центра к флангам).

Все выработки, проводимые в соляных породах, крепятся винтовой анкерной крепью с разгрузочными щелями. При креплении выработок комбайнами на западном фланге устанавливается 6 анкеров в ряду, на восточном фланге – 5 анкеров в ряду по сетке 1,0×1,0 м. Нарезка щелей предусмотрена на глубину 1,1 м при ширине щели 0,15 м, параметры паспорта крепления горных выработок следует уточнить с привязкой к конкретным особенностям горно-геологического строения конкретных участков месторождения.

Подачу закладочного материала в выработанное пространство, согласно проекту [76], предусмотрено производить гидравлическим способом по трубопроводу на три закладочных участка.

Ярко выраженная складчатость соляного пласта, его волнообразное и куполообразное строение, флексурные осложнения, наличие сводовых поднятий в центральной части шахтного поля свидетельствуют о неравномерном распределении значений горизонтальных напряжений в массиве пород месторождения. Осложняющими факторами являются гидрогеологические условия, определяемые наличием водообильных горизонтов, обводненных песчаных разностей в строении вышележащей толщи. Все это вызывает необходимость обеспечения сохранности водозащитной толщи на весь срок существования рудника путем обоснования параметров крепления применительно к типичным участкам месторождения с привязкой к конкретным выработкам, технологии их проходки и крепления.

Все это следует учитывать при обосновании параметров крепи с учетом особенностей совместного деформирования неоднородного массива соляных пород и выделенных факторов, определяющих устойчивость горных выработок, пройденных в соляных породах и оказывающих непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики анкеров, используемых для обеспечения устойчивости выработок в зависимости от параметров сечения и протяженности выработок, определяющих требования к анкерному креплению.

Принятые при разработке Гремячинского месторождения проектные горнотехнические решения призваны обеспечить сохранность водозащитной толщи и, при необходимости, с гарантией устойчивости подготовительных очистных выработок за счет применения надежной и долговечной анкерной крепи заданной несущей способности. Устойчивое состояние междукамерных целиков обеспечивается заполнением камер закладочным массивом, создающим в целиках силы горизонтального распора с приведением целиков в более устойчивое состояние. Обоснование структуры и параметров логистической схемы калийного рудника непосредственно определяет условия обеспечения устойчивости транспортных и подготовительных выработок, по которым идет перемещение закладочной смеси. Например, при

трубопроводном транспорте без анкерного крепления не обойтись, поскольку так трубопровод будет крепиться в кровле транспортных выработок [56].

2.4 Систематизация условий сочетания низкопрочных соляных и прочных ангидрит-доломитовых пород с учетом характеристики структурной нарушенности массива

Геологические условия проходки горных выработок при разработке Гремячинского месторождения калийно-магниевых солей характеризуются различными сочетаниями основных комплексов горных пород:

- ангидриты характеризуются пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 60-140$ МПа;

- галит-ангидритовая порода – светло-серая, серая, тонко-скрытозернистая, слоистая и вкрапленная (слоистая и вкрапленная текстуры обусловлены распределением соли каменной в виде линз и включений). Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 50,2$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;

- соль каменная – от светло-серой до серой, участками со слабым коричневатым оттенком, слоистая, разнокристаллическая, 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;

- зона замещения сильвинитового пласта каменной солью от серого до темно серого, коричневатого-серого цвета, полосчатая, разнокристаллическая. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 37$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;

- сильвинит - 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.

- карналлит-галитовая порода – розовато-светлосерая, массивная, пятнистая, с красноватыми гнездами карналлита и включениями различной формы галита светло-серого цвета. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 16$ МПа.

Анализ геологической информации, полученной после вскрытия Гремячинского месторождения, позволил установить наличие пликативных нарушений продуктивного пласта, которые не были выявлены на стадии геологоразведочных работ (ГРР). Этот факт связан с особенностями геологоразведочных работ на месторождениях солей различных видов.

Анализ картографических материалов в виде поверхностей топографического порядка, описывающих структурное строение месторождения и отдельных его участков, показал, что из всего объема поверхностей нет совпадающих. Учитывая характер рельефа земной поверхности на месторождении, можно выделить пару поверхностей, между которыми присутствует прямая корреляционная связь между отметками поверхности кровли пласта и поверхности изоглубин залегания кровли пласта. Анализируя поведение изолиний на указанных поверхностях топографического порядка выделены участки с существенными отклонениями в строении пласта сильвинита.

На рисунке 2.7 приведена выкопировка с уточненного по фактическим данным сводного разреза по главному северо-восточному вентиляционному штреку, которая иллюстрирует топографическую картину поверхности в разрезе.

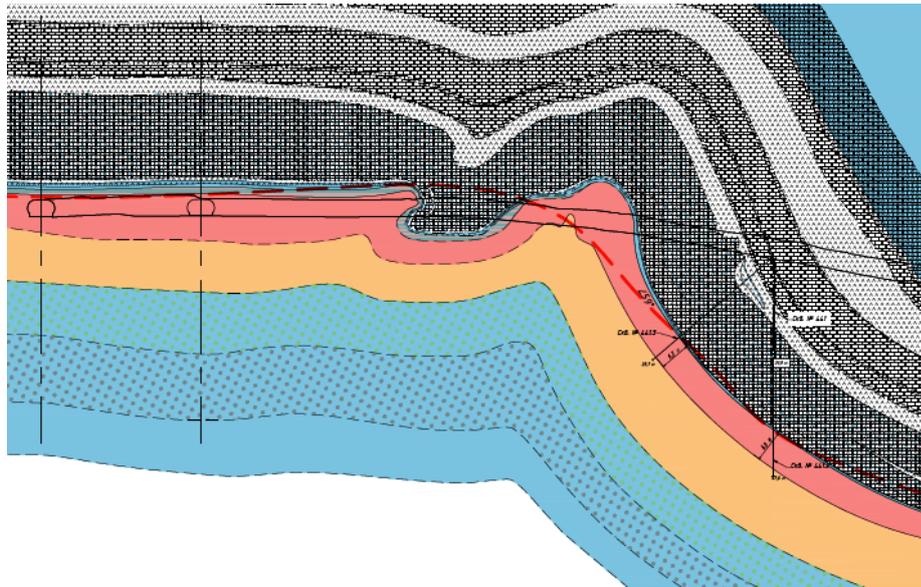


Рисунок 2.7– Выкопировка с фактического сводного разреза по главному северо-восточному вентиляционному штрэку

В результате анализа полученных графических данных установлено, что осложнение пликативными нарушениями влечет рост числа вариантов сочетаний пород различных типов. Детальный анализ фактической геологической документации по горным выработкам позволил выделить несколько групп условий строения кровли продуктивного пласта.

Первое сочетание строения кровли встречается чаще всего и представлено следующими горными породами (снизу-вверх): сильвинит > замещение каменной солью > каменная соль > ангидрит-галитовая порода > ангидрит > ангидрит-доломитовая порода с включениями галита.

Второй вариант строения массива горных пород основан на сочетаниях вариантах выклинивания горных пород, залегающих над замещенным каменной солью сильвинитом пород в массив крепких ангидрит-доломитовых пород. По данным геологической документации удалось выделить следующие сочетания горных пород, слагающих кровлю:

— сильвинит с замещением каменной солью и вкраплением в ангидрит и ангидрит-доломитовые породы с включениями галита;

— сильвинит с замещением каменной солью в сочетании с каменной солью и вкраплением в ангидрит-ангидрит-доломитовые породы с включениями галита;

— сильвинит с замещением каменной солью и вкраплением в ангидрит-галитовые породы, ангидриты и ангидрит-доломитовые породы с включениями галита;

— сильвинит с частичным замещением каменной солью, налеганием каменной соли и ангидрит-галитовых пород, а над ними ангидрит-доломитовых пород с включениями галита.

Третье сочетание строения кровли основано на отсутствии зоны замещения сильвинита каменной солью при различных сочетаниях и выклинивании вышележащих пород. По данным геологической документации удалось выделить следующие наборы горных пород, слагающих кровлю:

— сильвинит > каменная соль > ангидрит-галитовая порода > ангидрит > ангидрит-доломитовая порода с включениями галита

— сильвинит > каменная соль > ангидрит > ангидрит-доломитовая порода с включениями галита

— сильвинит > каменная соль > ангидрит-галитовая порода > ангидрит-доломитовая порода с включениями галита.

В целом, анализ горно-геологических условий отработки Гремячинского месторождения позволил установить, что строение непосредственной кровли имеет преимущественно слоистый характер (рис. 2.8). Слои при этом представлены породами, деформационные характеристики которых значительно отличаются друг от друга.

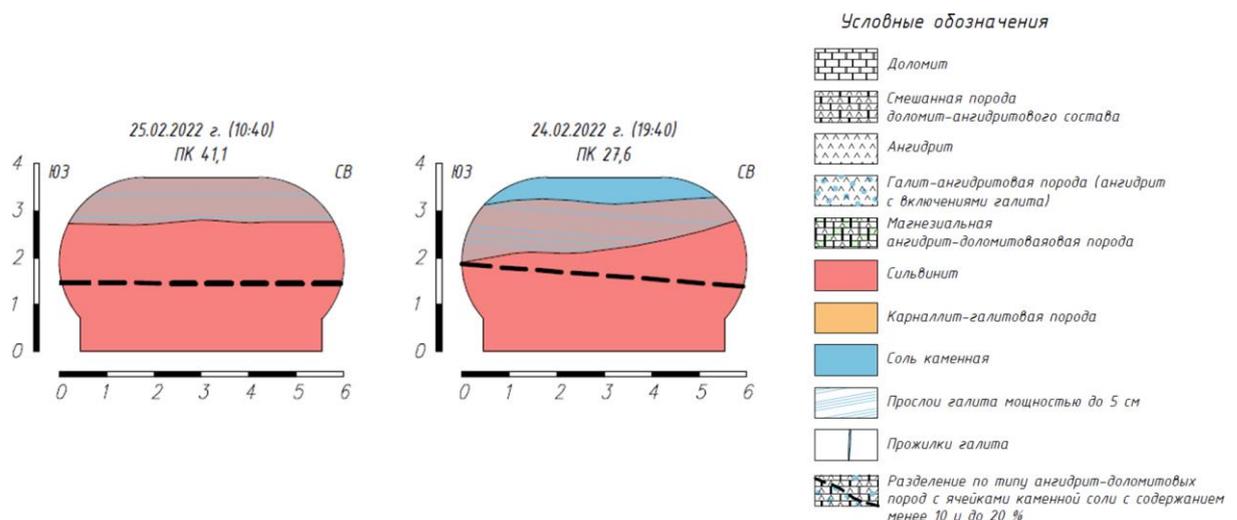


Рисунок 2.8 – Примеры геологического строения забоев

Согласно общим сведениям о строение водозащитной толщи в кровле, чаще залегают каменные соли, мощностью 1 м, над ними размещены доломиты и различные ангидритовые породы. В результате вскрытия и проходки капитальных и подготовительных выработок установлен факт осложнения строения пласта сильвинита неразрывными тектоническими нарушениями в виде дополнительной микроскладчатости. Указанный факт приводит к тому, что в кровле может подрезаться пласт каменной соли, либо оставаться корка, или подрезанный слой сильвинита с переменной мощностью. Это оказывает существенное влияние на несущую способность и эффективность работы анкерной крепи. В результате отслоения пород крепь выдергивается из кровли выработок (рис. 2.9), вместе с опорными плитами и полностью теряет несущую способность.

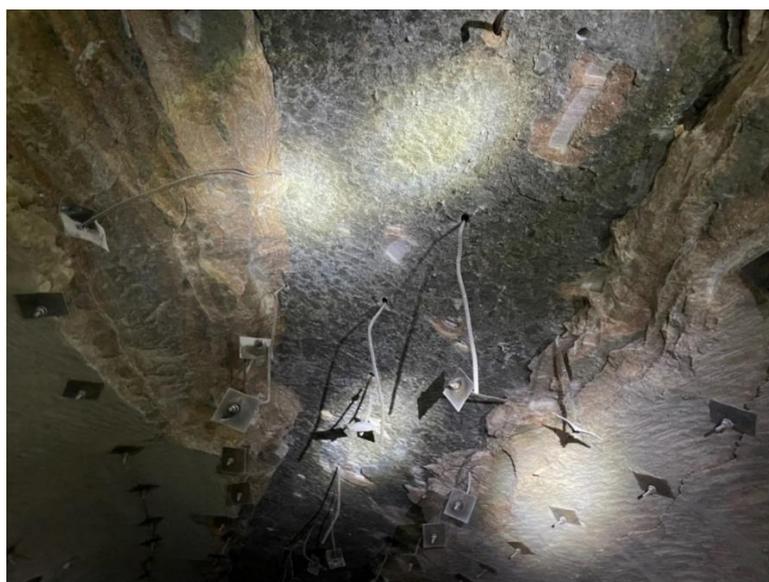


Рисунок 2.9 – Потеря несущей способности клинораспорной крепи в результате отслоения соляных пород

Анализ нормативных данных по классификации устойчивости горных выработок (табл. 2.4 и 2.5), которые лежат в основе используемых регламентах по креплению горных выработок, позволил установить следующее: наличие в непосредственной кровле горных выработок горных пород с различными деформационными характеристиками – предельные смещения соляных пород, свидетельствующие об устойчивости кровли – до 200 мм, а налегающих

ангидритов и доломитов в аналогичных состояниях – до 50 мм. Это приводит к отслоению соляных пород с последующим вывалообразованием на большой площади кровли подготовительно-нарезных и очистных выработок.

Таблица 2.4 – Классификация соляных пород по фактору устойчивости породных обнажений

Смещение U , мм	Категория устойчивости пород	Оценка состояния пород	Характеристика состояния пород
1	2	3	4
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

Таблица 2.5 – Классификация доломитовых пород по степени устойчивости

Категория устойчивости пород	Оценка состояния устойчивости пород	Смещение ангидрит-доломитовых пород U , мм
I	Устойчивое	До 50
II	Среднеустойчивое	Свыше 50 до 200
III	Неустойчивое	Свыше 200 до 500
IV	Очень неустойчивое	Свыше 500

В общем виде анкерная крепь должна препятствовать расслоению приконтурного массива с образованием отдельных вывалов. Однако, при наличии мощных (до 1 метра и более) слоев с низкими деформационными характеристиками, при работе анкера возникает ситуация отслоения слоев соляных пород от более жестких доломитов и ангидрит-доломитовых 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 этого 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.

В таких условиях самозакрепляющихся и клинораспорных (КРА) анкерах возникает схожий эффект: несущая способность анкера в горных породах с существенно отличающимися деформационными характеристиками обуславливает схожие процессы, так как несущая часть анкера в породах с различными модулями деформаций получает 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 усовершенствованной 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 [71,72].

Условия слоистого строения кровли выработок при различном сочетании разнопрочных и разномодульных слоев необходимы для расчета параметров паспорта крепления горных выработок в ходе геомеханического моделирования состояния массива горных пород в окрестностях

подготовительных выработок с учётом топологии пласта, наличия флексурных осложнений и структуры в кровле и стенках горных выработок при сложном строении массива вмещающих горных пород

Выводы по 2 главе

1. Анализ состояния горных выработок и крепи, а также перспективных технических разработок по поддержанию выработок в устойчивом состоянии на горнодобывающих предприятиях России и за рубежом показал, что в настоящее время наиболее технически оснащенным и эффективным способом обеспечения устойчивости выработок является анкерное крепление приконтурного массива горных пород.

2. Изучение механизмов разрушения пород, разработка методик контроля их напряженного состояния, а также оценка устойчивости подземных конструкций при различных условиях нагружения и деформирования массива и крепи представляет весьма актуальную задачу для практики эксплуатации месторождений, особенно неоднородного строения на больших глубинах, предопределяет разработку новых подходов к обоснованию конструкции и параметров крепления горных выработок в конкретных горно-геологических условиях Гремячинского месторождения.

3. Обобщение применяемых видов анкерной крепи показало, что основное отличие состоит в месте и способе закрепления анкеров: в призабойной части шпура или скважины (точечное закрепление) с помощью различных механических замков, либо по всей длине или значительной части скважины (сплошное закрепление) химическими составами на основе синтетических смол, цементных (песчано-цементных) растворов, фрикционное закрепление упругого анкера в массиве горных пород с помощью энергии взрыва.

4. Систематизация выводов и условий закрепления анкерной крепи по конструктивным особенностям позволяет определить область и условия

предпочтительного применения различных видов анкеров крепи, что обеспечивает возможность при проектировании рудников и определении плана развития горных работ и уточнения паспорта крепления горных выработок выбрать предпочтительный вариант.

5. Преимуществами применения анкеров фрикционного типа являются: набор несущей способности анкера сразу после установки; закрепление его по всей длине шпура; возможность установки как при помощи буровой установки, так и при помощи ручных перфораторов.

6. В качестве основных факторов, оказывающих непосредственное влияние на эксплуатационные характеристики анкеров, рассмотрены: горно-геологические условия закрепляемых пород; глубина заложения анкера; диаметр шпура в сопоставлении с диаметром стержня и способом установки; материал стержня и цементирующей смеси.

7. Требования к возведению анкерной и усовершенствованной крепи в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, определяющие длительное безопасное поддержание выработок, закреплённых анкерной крепью, зависят, прежде всего, от своевременного контроля за значениями смещений, развитых расслоении и трещиноватости приконтурных слоев кровли, а также от проявлений деформаций пород в боках выработок. При этом, 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.

8. Выбор вида, конструкции и параметров анкерного крепления, обеспечивающих устойчивость глубокозалегающих подземных горных выработок в неоднородном разнопрочном, разномодульном массиве слоистых вмещающих горных пород при сложной морфологии и флексурных нарушениях пласта сильвинита калийного месторождения должен

производиться дифференцированно с учетом геологического строения массива за контуром выработки, определяющего специфику нагружения элементов комплектующих крепи по длине анкера.

9. Для обеспечения устойчивости выработок, пройденных в слоистом массиве соляных пород, необходима разработка принципиально новых конструкций усовершенствованной 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.

10. Параметры паспорта крепления при возведении крепи фрикционного типа в неоднородном разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих выработку горных пород должны учитываться с учетом топологии разработки пласта, его флексурных нарушений, условий залегания и включения соляных пород в достаточно прочные ангидриты и ангидрит-доломитовые породы и особенностей нагружения элементов анкерной крепи по ее длине в совместно нагружаемой и деформируемой системе «анкер-слоистый массив соляных пород».

11. При устойчивой тенденции перехода на большие глубины и вовлечении в разработку сложных в технологическом отношении запасов задачи, направленные на разработку способов оценки состояния анкерной крепи для уточнения параметров крепления горных выработок и совершенствования конструкций анкерной крепи, обоснования эффективных технологических решений по сохранению работоспособности анкерной крепи, эксплуатируемой в условиях повышенной относительной влажности рудничного воздуха, агрессивности среды и обводнённости породного массива, а также в связи с необходимостью предотвращения прорыва подземных вод в горные выработки, требуют развития методологии крепления подземных выработок и оценке состояния анкерной крепи при разработке соляных месторождений.

3 ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ, ПАРАМЕТРОВ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

3.1 Факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики и несущую способность анкерной крепи

В соответствии с Программой-методикой, утвержденной директором по производству Гремячинский ГОКа ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» Бергером Р.В., в декабре 2021 года были проведены испытания эксплуатационных характеристик и фактической несущей способности анкерной крепи (СЗА) производства ООО «УралЭнергоРесурс» и АТФ (фрикционные анкеры) производства ООО «ОКС».

Для испытаний из 40 предоставленных ООО «УралЭнергоРесурс» образцов анкеров было установлено 25 комплектов различных типов СЗА (по 5 каждого типа). Также испытывались ранее установленные анкеры СЗА в характерных горно-геологических условиях рудника, также были испытаны клинораспорные анкеры производства ООО «ОКС». Испытания проведены в выработках, пройденных в следующих породах: галит-ангидритовая порода, соль каменная, зона замещения сильвинитового пласта каменной солью, сильвинит.

Результаты испытаний и замеров представлены в таблицах 3.1 и 3.2. Сравнение результатов испытаний свидетельствуют о преимуществе анкерной крепи типа СЗА для укрепления достаточно крепких вмещающих пород, представленных ангидритами и доломитами. При этом в крепких породах крепь КРА также показала достаточно высокие несущие характеристики.

Для закрепления обнажений подземных выработок, пройденных в галит-ангидритовых породах, каменных солях и сильвинитах необходимо использовать анкеры с другим типом антикоррозионного покрытия типа ПП.ЭП(Э) и иными параметрами закрепления. На это указывает сравнение показателей испытаний анкерных крепей в соляных породах: низкая несущая

способность анкеров, установленных в сильвинитах и галит-ангидритовых породах, ниже нормативного уровня 50 кН. Это указывает на необходимость усовершенствования конструкции анкера для закрепления низко прочных солевых пород.

Опыт испытаний несущей способности анкерного крепления типа КРА (клинораспорные анкеры) в условиях Гремячинского рудника свидетельствует, что их несущая способность в крепких ангидритах и доломитах не ниже 50-60 кН. При испытании относительно недавно установленных анкеров (до 1-2 месяцев) и менее, несущая способность составила 50 кН.

Сопоставительный анализ несущей способности анкеров типа СЗА и КРА показал достаточно высокую несущую способность (свыше 100 кН) сопротивлению выдергиванию анкеров и того и другого 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, 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.

Сравнение результатов выполненных шахтных испытаний свидетельствуют 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.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик анкерной крепи с фрикционным типом закрепления в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» участок выработки ГСЗКВШ №1 в интервале ПК 70 – ПК170 по сильвинитам

№ п/п	Наименование организации-изготовителя,	Типоразмер крепи, её 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
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 3.2 – Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик анкерной крепи с фрикционным типом закрепления в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» при эксплуатации анкеров более 3 мес.

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи	Место установки и геологическая характеристика	Типоразмер крепи, её 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%

*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

3.2 Обоснование условий и параметров совершенствования конструкции и результаты испытания инновационных крепей в слоистых соляных породах

Принцип расчета и обеспечения устойчивости пород основан на известной теории сводообразования в кровле выработки. Параметры анкеров определяются исходя из необходимости обеспечения поддержания части потенциально обрушающегося массива в приконтурной зоне выработки за счет скрепления слоистых или трещиноватых пород в этой зоне для обеспечения устойчивости элементов массива горных пород вглубь на прогнозируемую зону развития критических деформаций (рис. 3.1).

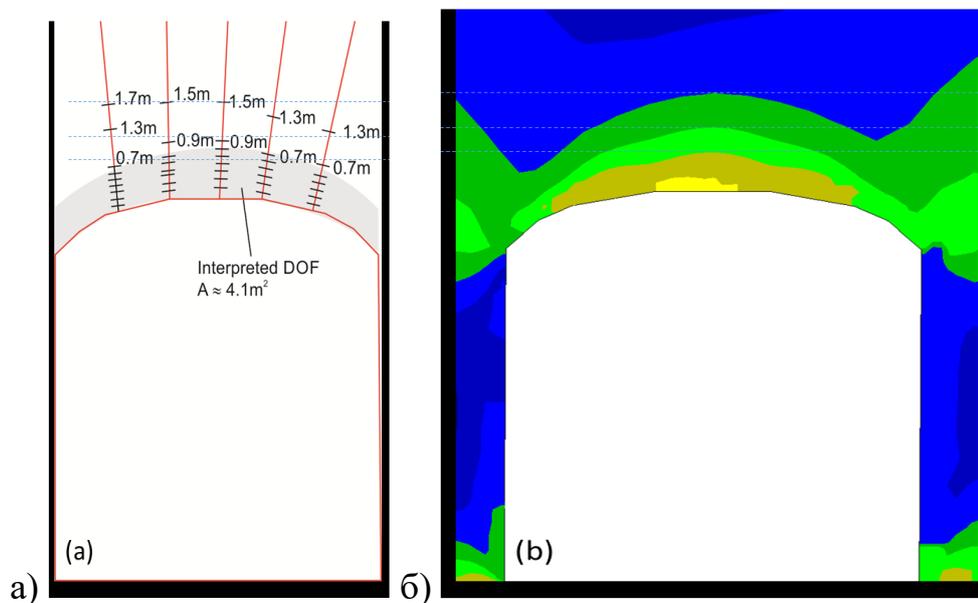


Рисунок 3.1 – Схема расположения анкеров в кровле подготовительной выработки (а) с учетом развития деформационных процессов (б)

Данный принцип положен в основу обоснования закрепления соляных пластов пород. С учетом деформаций (смещений) приконтурной части выработки рекомендуется использовать анкер с усовершенствованным 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 оказываются малоэффективной, поскольку в результате смещений структурных неоднородностей анкер не работает в следствии потери связи в системе «замок-опорная плита».

При разработке соляных месторождений традиционно для крепления подземных горных выработок используются анкеры в комплексе металлическими рамами из профиля СВП.

Наиболее распространенные конструкции замковых металлических анкеров КРА, которые применяют в породах, сопротивление сжатию которых изменяется от 40 до 100 МПа. Однако, анкеры не защищены от коррозии и требуют регулярного контроля за натяжением, которое в процессе эксплуатации крепи может существенно уменьшаться и даже утрачиваться полностью.

В вязких породах средней прочности, например, в солях, эффективно использовать металлические беззамковые анкеры, 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 низким зацеплением цементного камня с поверхностью шпура вследствие воздействия воды.

Сталеполимерные анкеры (СПА) закрепляют в скважине быстротвердеющим полимерным составом, состоящим из синтетической смолы, отвердителя, катализатора, при необходимости 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 в других сложных условиях. Однако, при укреплении соляных пород, низкий уровень адгезии смол с солями, как показал опыт, не позволяет анкеру обеспечить требуемую несущую способность. 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. Высокая технологичность использования самозакрепляющихся анкеров (СЗА) и условия промышленной безопасности требуют уточнения для определения оптимальных параметров крепления выработок анкерами СЗА на основе фрикционного закрепления в условиях ведения горных работ на Гремячинском месторождении ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

Для испытаний были разработаны принципиально новые конструкции анкерной крепи со вставками изменяющимися деформационными характеристиками с учетом выполнения базовых положений:

- анкер должен иметь «замок» 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.

Для дальнейших испытаний принят в качестве основной конструкции анкер с фрикционным типом закрепления, модифицированный дополнительными вставками по принципу клинораспорного вида закрепления.

Анкеры испытывались в условиях Гремячинского подземного рудника при различных режимах бурения: с промывкой шпура и без промывки (рис.3.2).

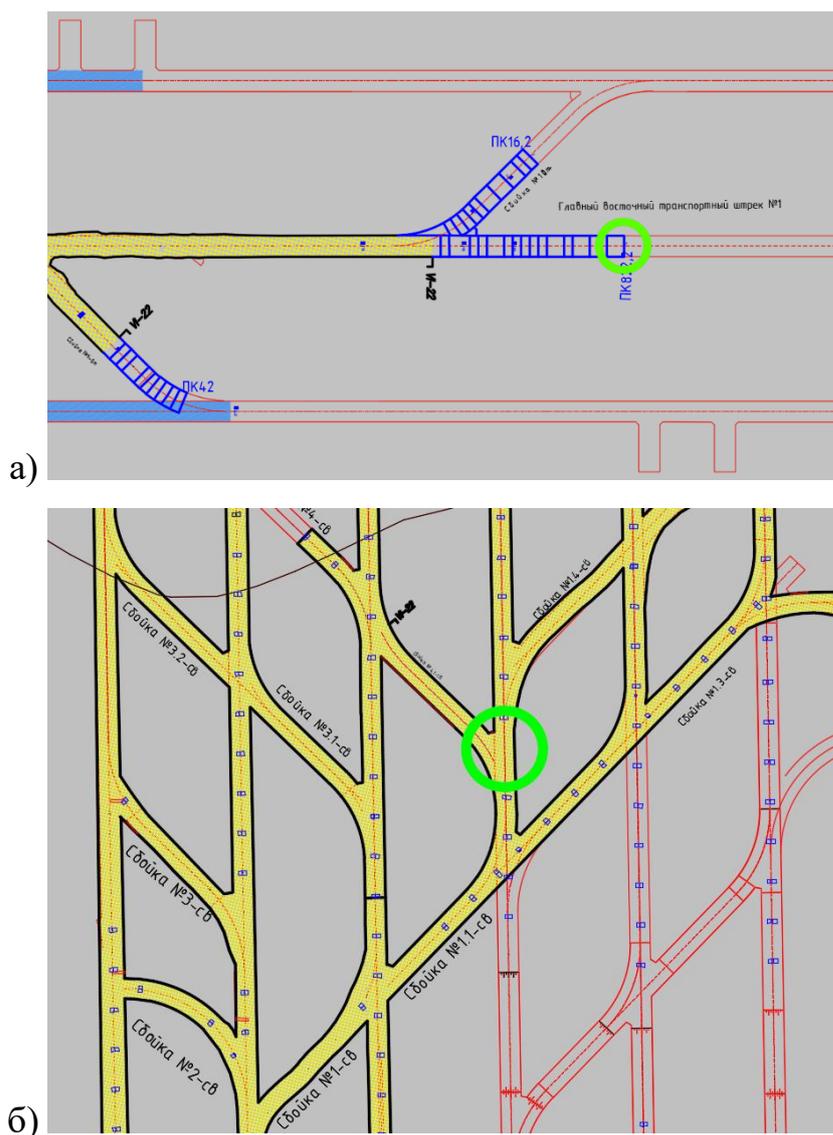


Рисунок 3.2 – План выработок с указанием мест проведения испытаний анкерной крепи: а – в соляных породах, б – в ангидрит-доломитах

Предложенная конструкции усовершенствованных 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. Для повышения несущей способности анкеров СЗА в слабых соляных и структурно нарушенных породах разработаны и испытаны в 2022 году конструкции анкеров с комбинированием типов закрепления: включением в стержень анкера усиливающих фрикционное взаимодействие вставок и закрепления анкера в шпуре путем создания дополнительного клинораспорного усилия и формирования замка в конической части анкера. Результаты испытаний показали преимущество анкеров, в конструкции которых были предусмотрены усиленные металлические вставки (рис. 3.3) – вставки из деревянного бруса (рис. 3.4) и распорных анкеров с металлической вставкой (рис. 3.5). Оценка несущей способности этих двух типов анкеров 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 анкеры со вставкой из деревянного бруса.

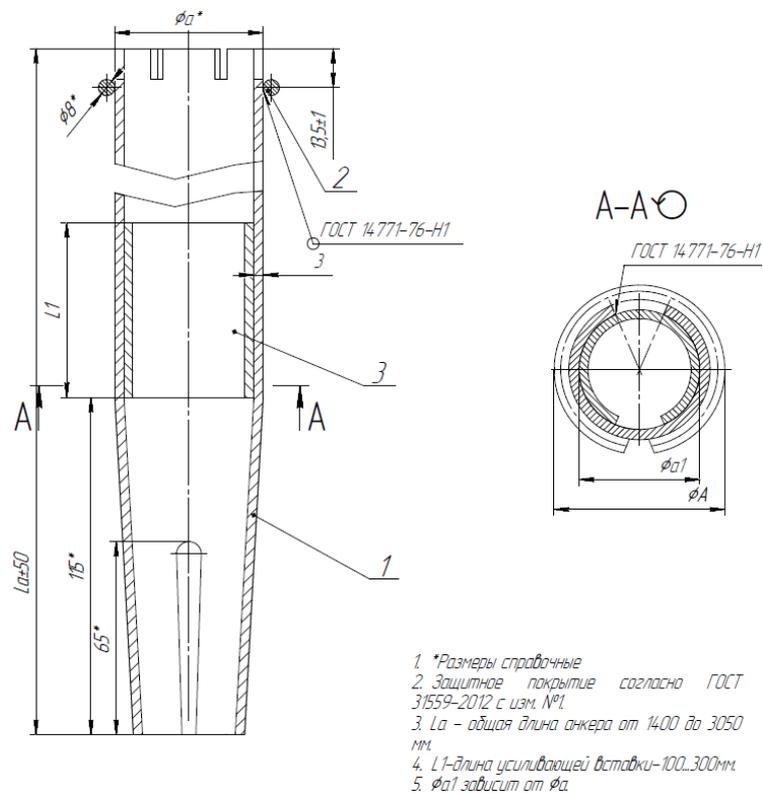


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема анкера СЗА с усиленной вставкой

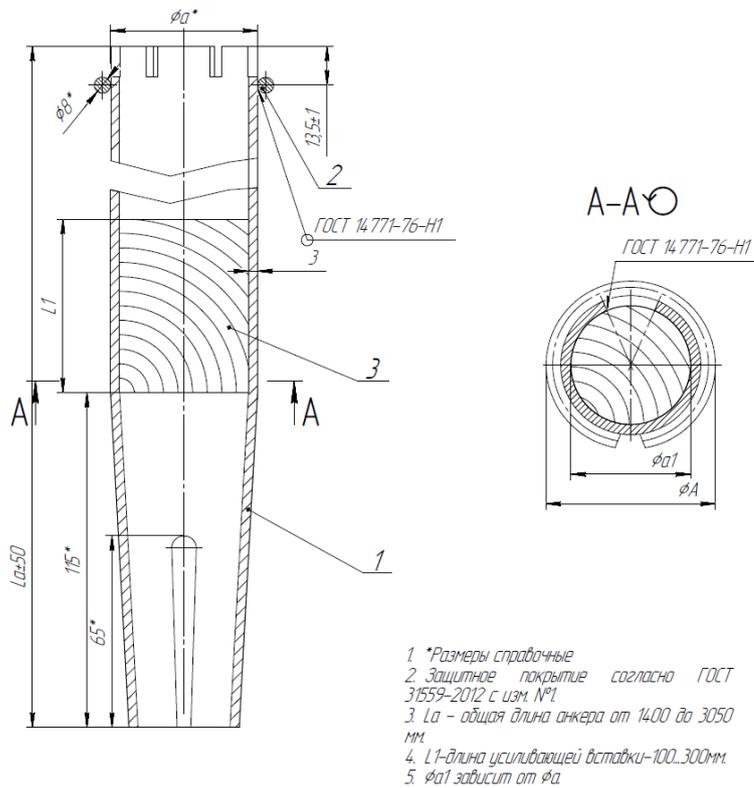


Рисунок 3.4 – Конструктивная схема анкера СЗА с деревянной вставкой

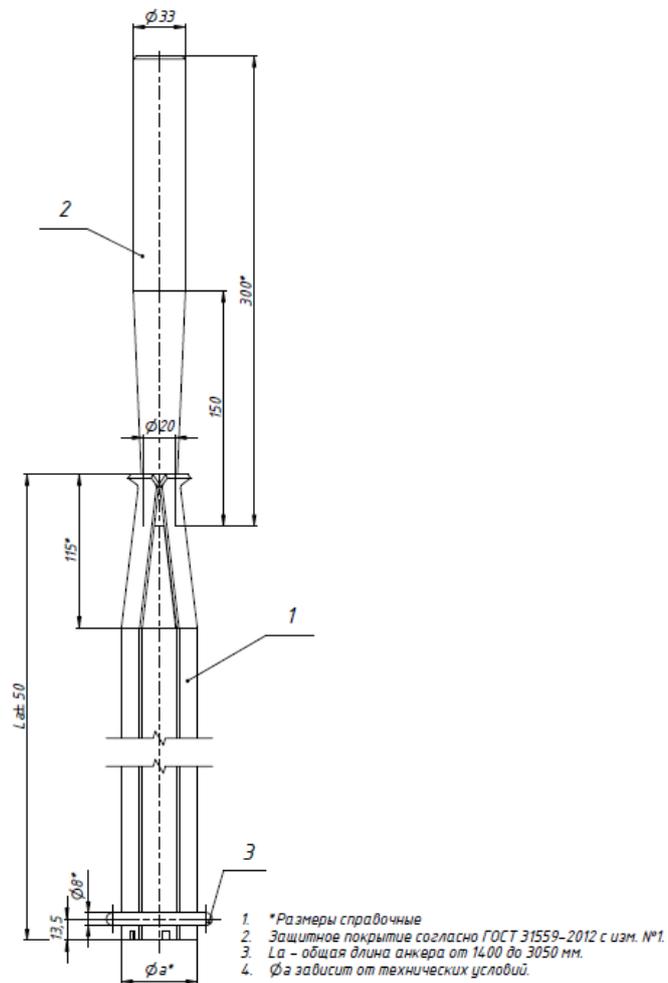


Рисунок 3.5 – Конструктивная схема анкера СЗА с металлическим клином

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.

Испытания включали проверку эксплуатационных характеристик анкерной крепи в процессе её установки в шпур, пробуренные на опытном участке горной выработки, а также в ходе эксплуатации подземной выработки с ранее установленными анкерами. Продолжительность испытаний определяли исходя из количества устанавливаемой крепи и объема работ, необходимых для достижения целей и задач испытаний.

3.3 Анализ результатов испытаний как основа выбора параметров крепи

Результаты испытаний эксплуатационных характеристик усовершенствованной конструкции анкеров СЗА представлены в таблицах 3.3 и 3.4.

Анализ результатов испытаний позволил установить:

— минимально необходимая несущая способность усовершенствованных конструкций анкеров СЗА 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 бурение (перебур или недобур) для конструкций с жестким металлическим клином оказывают существенное влияние на несущую способность анкера, что проявляется в выпадении опорного клина и полном нарушении анкера. Данный факт выявлен для углового закрепления анкера в доломитовой толще;

— наиболее стабильные показатели по несущей способности установлены для анкеров с деревянной вставкой в виде цилиндрического бруска. Данная конструкция взята за основу дальнейшего усовершенствования анкера.

Усиление фрикционного взаимодействия достигалось различными вставками, изготовленными из дерева или пластика, что в соляных массивах показало стабильный результат, обеспечивающий несущую способность более 50 кН. Для анкеров с измененной конструкцией замка клинораспорного устройства необходимо контролировать длину шпура, поскольку это влияет на величину распора и, соответственно, на несущую способность. Анкеры с усиливающей металлической вставкой, независимо от 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 доломитов, так как фиксировалось выпадение клина при установке. Это определяет возможность и необходимость дальнейшего совершенствования конструкции анкера данного типа.

Таблица 3.3 – Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров со вставками с изменяющимися деформационными характеристиками и условия их закрепления в соляных породах

№ п/п	Наименование организаци- изготовителя, крепи.	Типоразмер крепи, её комплектность	Место установки и геологическая характеристика	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм				Удельное сопротивление, МПа*	Величина предельной нагрузки, кН пределы
				длина стержня	диаметр стержня	длина вставки	размеры опорной плиты / амокоркаса	пределы изменения	пределы изменения
								среднее	среднее
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-УФК	Соляные породы	1856	48	150	200x200 / 950x950	30-32	68-72
								31	70
2		СЗА-УФК		1850	48	250	200x200 / 950x950	23-38	52-86
								30	64
3		СЗА-УФК		1852	48	350	200x200 / 950x950	29-30	65-68
	29,5		66,5						
4	СЗА с замковой частью из деревянного бруска	1850	48	200	200x200 / 950x950	30	68		
5	СЗА с металлическим клином 200 мм	1850	48	200	200x200 / 950x950	28-31	63-70		
						29,5	66,5		

Таблица 3.4 – Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров усовершенствованной конструкции и условия их закрепления в доломитовых породах

№ п/п	Наименование организации-изготовителя, крепи.	Типоразмер крепи, её комплектность	Место установки и геологическая характеристика	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов, мм				Прочность, МПа	Величина нагрузки / среднее, кН
				длина стержня	диаметр стержня	длина вставки	размеры опорной плиты / амокоркаса		
1	ООО «УралЭнергоРесурс»	СЗА-УФК	Доломитовые породы	1854	48	150	200x200 / 950x950	32	72
2		СЗА-УФК		1852	48	250	200x200 / 950x950	28	63
3		СЗА-УФК		1851	48	350	200x200 / 950x950	40	90
4		СЗА с замковой частью из деревянного бруска		1854	48	200	200x200 / 950x950	28	63
5		СЗА с металлическим клином 200 мм		1851	48	200	200x200 / 950x950	10-12	22-27/ 24,5

Статистическая обработка результатов определения несущей способности усовершенствованной конструкции анкеров типа СЗА при различной длине вставки представлена на рисунке 3.6.

По результатам экспериментального определения деформационных характеристик усовершенствованной конструкции анкеров СЗА установлено, что с увеличением длины вставок несущая способность анкеров в массиве соляных пород снижается и характеризуется большим разбросом величины нагрузки, составляя 64-70 кН. Удельное сопротивление выдергиванию анкера в соляных породах при испытании анкеров с различной длиной ставки изменяется в незначительных пределах 29,5-31 Мпа, а среднее значение сопротивления отрыву в соляных породах не превышает 31 Мпа.

В доломитовых породах длина вставки несколько повышает несущую способность конструкции крепи, при этом несущая способность анкеров с длиной усиливающей металлической вставкой, длиной 150, 250, 350 мм, растет и превысила 90 кН.

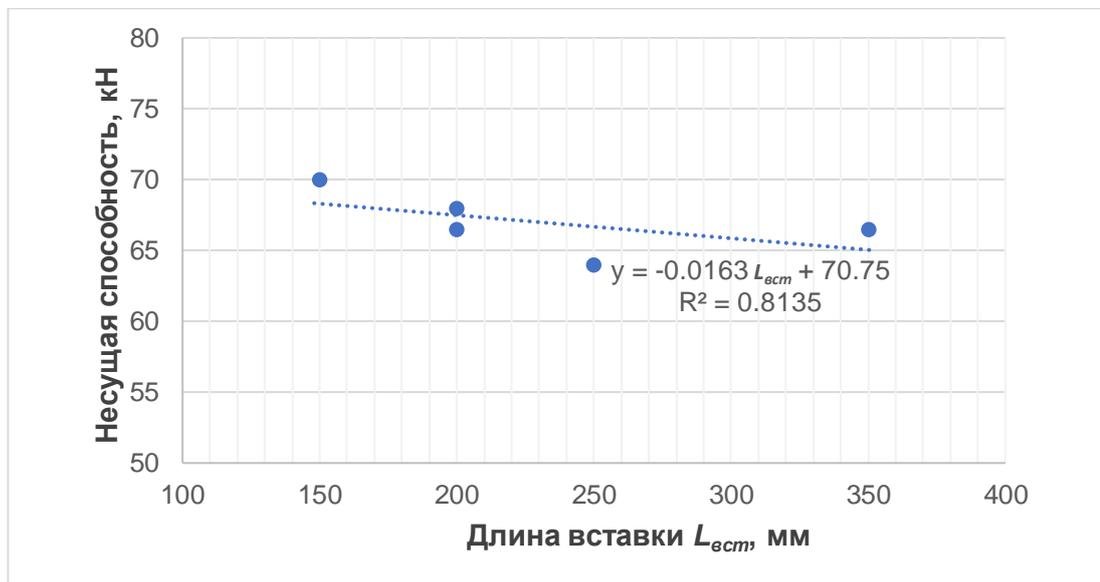


Рисунок 3.6 – Влияние длины вставки на несущую способность усовершенствованной анкерной крепи СЗА в соляных породах

Удельное сопротивление выдергиванию анкеров со вставкой в доломитовых породах при увеличении длины вставки в стержне анкерной крепи с 150 до 250 мм, показывает, что коэффициент роста удельного сопротивления выдергиванию крепи с увеличением длины вставки составляет

0,7 МПа/мм длины вставки. Верхний предел прочности в крепких доломитовых породах определен также, как и соляных породах, при испытании анкера с усиливающей металлической вставкой, длиной 350 мм, составляет 40 МПа.

Испытания усовершенствованной конструкции анкеров выявили во всех случаях превышение фактической несущей способности анкерной крепи над требуемой для традиционной конструкции СЗА – 50 кН на 72%. Длина вставки оказывает влияние на рост несущей способности, и зависит от типа породы и материала вставки. Использование СЗА с металлическим клином требует более точного контроля за соблюдением длины шпура, также наличие перебура не позволяет обеспечить необходимого расклинивающего эффекта.

Испытания несущей способности усовершенствованной анкерной крепи СЗА в 2022 – 2023 годах свидетельствуют, что за 4 месяца произошел рост в 1,8 раза (рис.3.7), в дальнейшем во времени он продолжился, крепь устойчиво стоит, но ограниченные возможности используемого при испытаниях оборудования не позволили извлечь анкер из слоистой кровли.

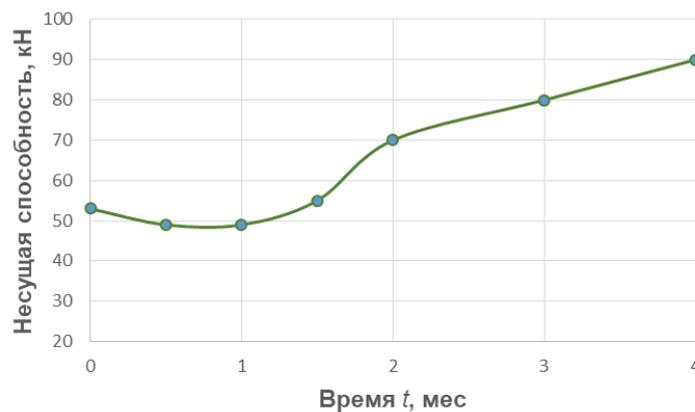


Рисунок 3.7 – Изменение несущей способности анкерной крепи СЗА, установленной в соляном массиве, во времени

Результаты испытаний анкеров со вставкой с изменяющимися деформационными характеристиками подтвердили ранее высказанную гипотезу о целесообразности применения для обеспечения устойчивости слоистых разнопрочных и разномодульных соляных пород с включениями слабых прослоев соляных пород усовершенствованных анкеров с

включениями вставок с отличающимися деформационными характеристиками с дополнительным распором горизонтальных тангенциальных сил, создаваемых металлическим клином или деревянными вкладками, усиленным и фрикционным креплением и изменяющейся длиной вставки, зависящий от мощности прослоев соляных пород с более высоким коэффициентом относительных поперечных деформаций по сравнению с соответствующей характеристикой ангидритов и ангидрит-доломитовых пород.

3.4 Разработка алгоритма моделирования работы усовершенствованного самозакрепляющегося анкера для расчета его параметров в слоистой кровле выработок

При установке клинораспорного анкера в шпур в районе замка формируется защемлённая неподвижная опора. В результате закручивания гайки на опорном узле анкера происходит поджим опорной плиты к поверхности породы, тем самым возникает натяжение анкера и, за счет реакции замка и опорной плиты, через стержень анкера, собственно, обеспечивается несущая способность анкера и происходит закрепление области пород вокруг него (рис. 3.8).

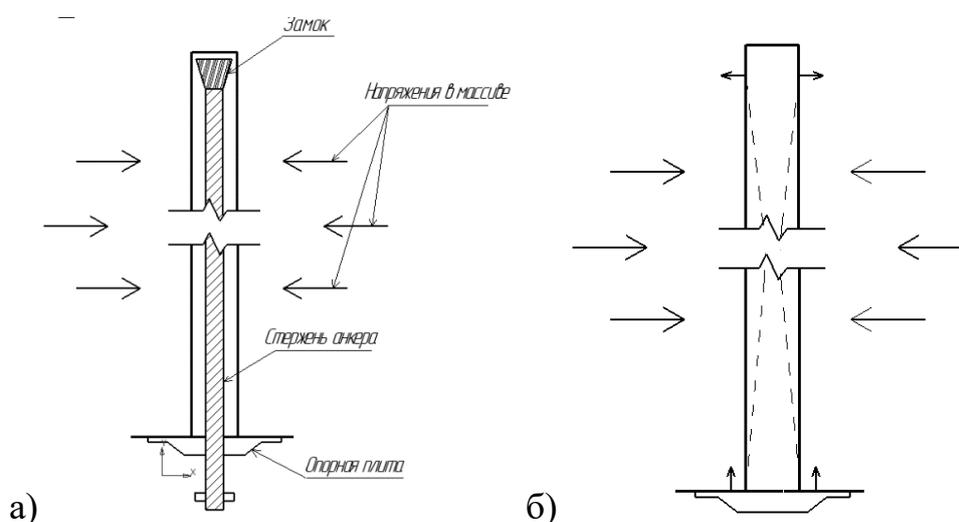


Рисунок 3.8 – Схема нагружения анкера в породном массиве в момент его возведения (а) и после проявления реакции в опорной плите (б)

Спустя время, в результате воздействия горного давления, а также проявления дополнительных реакций опор (обозначены стрелками на рис. 3.7,б) на поверхности шпура неизбежно возникают деформации и смещения массива. В анкерах, закрепленных твердеющим составом, данный эффект отсутствует, из-за перенесения нагрузки на контакт твердеющего состава и вмещающих пород. Через определенный период времени конструкция клинораспорного анкера, а именно, его замок переходит в режим защемления подвижной опоры, а опорная плита становится шарнирно-подвижной, то есть система закрепления перестает функционировать. Привести её в рабочее состояние возможно путем повторного натяжения опорной гайки и прижимом опорной плиты к породе. Данный метод будет работать до тех пор, пока не исчерпается рабочий диапазон раскрепления замковой части. В мягких соляных породах данный диапазон значительно меньше, в сравнении с работой анкера в более твердых породах. В указанном интервале времени, в течение которого возможно повышение натяжения анкера, соляной массив может находиться в режиме разгрузки или отслоения структурных неоднородностей и, в случае проявления критических деформаций, следует ожидать роста деформаций и последующего обрушения горных пород.

Основными расчетными параметрами анкерной крепи являются: длина анкеров, расстояние между ними или плотность установки, расчетное сопротивление стержня на разрыв, несущая способность замка анкера. В зависимости от характера деформирования и устойчивости элементов горной выработки, анкерная крепь может устанавливаться в кровле, либо в кровле и почве, в кровле и боках выработки, или по всему ее периметру.

Как указывалось ранее, самозакрепляющийся анкер (СЗА) представляет собой несущий элемент 1 (НЭ) с жестким упором 3 и опорную плиту 2, установленную свободно на НЭ (рис.3.9).

НЭ выполнен в виде цилиндрической поверхности с продольным пазом и головной частью конической формы. Внешний диаметр НЭ – d_B выполняется с превышением относительного диаметра шпура – $d_{ш}$ на величину Δ . При

установке в шпур диаметр НЭ уменьшается на величину Δ . За счет его упругой деформации создается нормальное давление на поверхности сопряжения НЭ – шпур. Нагрузочная способность СЗА определяется распределенной силой трения, создаваемой упруго деформируемым НЭ [32].

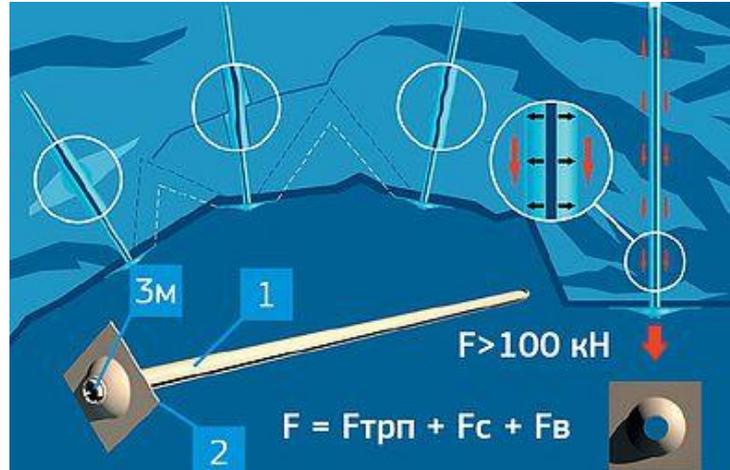


Рисунок 3.9 – Принцип работы самозакрепляющейся анкерной крепи: 1 - несущий элемент, 2 - опорная плита, 3 - жесткий упор [32]

Параметрами, определяющими конструкцию СЗА и его функциональность, являются: длина НЭ – l , внешний диаметр НЭ – d_B , разность диаметров – Δ , толщина стенки – δ , угол при вершине НЭ – α , ширина паза – b .

Численные значения перечисленных параметров должны обеспечить выполнение трех обязательных условий функционирования [32]:

1. Распределенная сила трения должна быть больше или равна силе тяжести «конуса вывала»: $F_{тр} > G_{КВ}$.

2. Усилие установки СЗА (сила сопротивления) не должно превышать критическую силу по Эйлеру: $F_{кр} > F_{УС}$.

3. Действующие напряжения, возникающие в стенках НЭ, не должны превышать допускаемые: $[\sigma] > \sigma$.

При формировании расчетной модели приняты следующие допущения: деформация по всему контуру поперечного сечения анкера равномерна и вызвана изгибом; в сечениях с максимальным напряжением ее величина равна пределу текучести материала; действие со стороны массива на анкер

представляется в виде равномерно распределенной нагрузки, интенсивностью q ; паз анкера обеспечивает беспрепятственное перемещение относительно его свободных поверхностей.

При первом условии величина F_{yc} определяется сопротивлением упругой деформации несущего элемента (НЭ):

$$F_{yc} = F_{трП}, \text{ (кН)}, \quad (3.1)$$

где: $F_{трП}$ – сила трения, обусловленная деформацией стенок анкера в поперечной плоскости, кН.

$$F_{трП} = 0,96 * r * \sigma_T * \delta * l_{соп} * f_{тр1} / (r + \delta/2), \text{ (кН)}, \quad (3.2)$$

где: δ – толщина стенки, мм; $l_{соп}$ – продольная длина анкера, сопряженная с массивом, мм; σ_T – предел текучести материала анкера (Па); $f_{тр1}$ – коэффициент трения скольжения системы НЭ – массив, дол.ед.; r – радиус анкера по среднему диаметру в сжатом состоянии, мм.

Согласно второму условию, усилие установки определяется:

$$F_{кр} = 2\pi * E * J / (\mu l_{НЭ})^2, \text{ (кН)}, \quad (3.3)$$

где: E – модуль упругости (Па); J – момент инерции сечения НЭ в недеформированном состоянии ($\text{кг}\cdot\text{м}^2$); μ – коэффициент приведения длины, $\mu = 2$. При этом $l_{НЭ}$ следует принимать численно равной l .

На последующих этапах $l_{НЭ}$ становится меньше величины $l_{НЭ}$ на величину внедрения анкера в массив, но одновременно увеличивается F_{yc} . В связи с этим, выполнение второго условия следует проверять при нескольких значениях $l_{НЭ}$.

Третье условие функционирования анкера отражает нахождение действующих напряжений в зоне упругости материала НЭ. В данной постановке задача имеет вид классической задачи оптимизации, где в качестве целевой функции целесообразно принять массу НЭ (массу головной части не учитываем, ввиду ее малости):

$$\Phi = 2*(dШ + \Delta) * \delta * l, \text{ (мм}^3\text{)}, \quad (3.4)$$

где: δ – толщина стенки НЭ, мм; l – продольная длина НЭ, мм; $d_{Ш}$ – диаметр шпура, мм; Δ – разница между внешним диаметром НЭ и диаметром шпура, мм.

Изложенный выше подход способен определить параметры СЗА, обеспечивающие условия установки несущего элемента и его функционирование.

Для определения несущей способности анкера фрикционного типа разработана следующая модель, где в расчетах применяется схема нагружения, основанная на выполнении основного условия, характеризующего деформацию стержня в шпуре. После его введения исходная форма поперечного сечения стержня (рис.3.10, а) деформируется и приобретает вид, представленный на рисунке 3.10, б.

При этом реализуются следующие три условия:

1. На участке BB_I обеспечивается полное сопряжение стенок стержня и шпура. Внешний радиус стержня на участке BB_I равен радиусу шпура $0,5 D_{ш}$ (рис.3.9, б).

2. На участках BC ($B_I C_I$) контакт между стержнем и шпуром отсутствует. Внешний радиус стержня увеличивается с $0,5 D_{ш}$ до $0,5 D_c$.

3. В точке C (C_I) реализуется контакт между кромкой стержня и шпуром.

Принятое взаимное положение стенок стержня и шпура определяет следующую схему нагружения анкера:

- по всей длине дуги BB_I действует распределенная нагрузка q . Граница участка – т. B (B_I), определяется углом β ;
- на участке BC ($B_I C_I$) внешних нагрузок нет;
- в точках C (C_I) и B (B_I) приложены, соответственно, сосредоточенные силы R_C (R_{C_I}) и R_B (R_{B_I}).

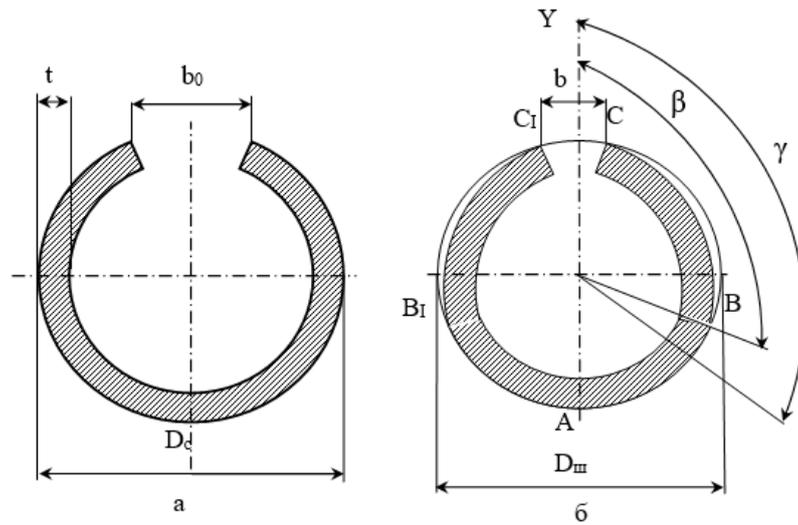


Рисунок 3.10 – Поперечные сечения стержня анкера: до установки в шпур (а); после установки (б): D_c , $D_{ш}$ - внешний радиус стержня [32]

Схема нагружения (рис. 3.11) определяется четырьмя параметрами: q , β , R_C и R_B . Установление зависимости этих характеристик от геометрических параметров шпура и стержня анкера основано на выполнении принятой схемы деформации поперечного сечения стержня при выполнении уравнения равновесия.

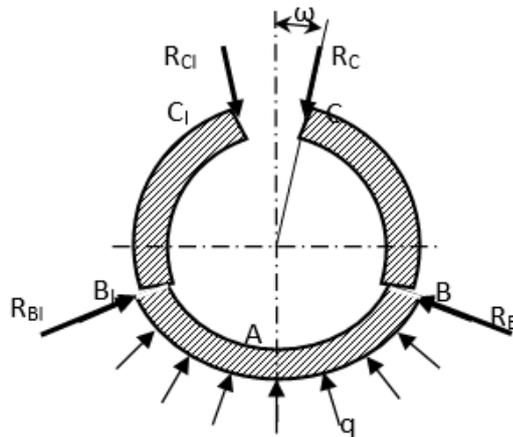


Рисунок 3.11 – Схема нагружения поперечного сечения стержня анкера [32]

На участке BB_1 имеет место изменение кривизны стенки стержня ρ^I с исходной величины $2 \cdot D_c^{-1}$ на $2 \cdot D_{ш}^{-1}$.

$$\rho^I = \frac{2 \cdot (D_c - D_{ш})}{D_c \cdot D_{ш}}, \quad (3.5)$$

или, с учетом того, что деформация стержня в поперечном сечении $S = D_C - D_{III}$:

$$\rho^I = \frac{2 \cdot S}{D_C \cdot D_{III}} \quad (3.6)$$

Постоянная величина радиуса кривизны на участке BBI возможна при неизменной величине изгибающего момента во всех сечениях в пределах данного участка:

$$M_{BBI} = E \cdot J \cdot \rho^I \quad (3.7)$$

где E – модуль упругости материала стержня, Па; J – момент инерции стержня стенки, толщиной t , м⁴;

$$J = \frac{l \cdot t^3}{12} \quad (3.8)$$

где l – единичная длина стержня, $l = 1$ м; t – толщина стенки стержня, м.

Исходя из выполнения условия равновесия в произвольном сечении, положение которого определяется углом γ , имеем:

$$M_{BBI} = \frac{R_C \cdot D_{III}}{2} \sin(\gamma - \omega) + \frac{R_B \cdot D_{III}}{2} \sin(\gamma - \beta) + \frac{q \cdot D_{III}^2}{4} ((\gamma - \beta) \sin(\gamma - \beta) / 2) \quad (3.9)$$

где ω – угол, определяющий положение края стержня после введения в шпур.

$$\omega = \arcsin\left(\frac{b}{2D_{III}}\right) \quad (3.10)$$

где b – расстояние между кромками паза стержня после установки, м.

$$(\gamma - \beta) \sin((\gamma - \beta) / 2) = \frac{1}{2} (\sin^2(\gamma - \beta) + (1 - \cos(\gamma - \beta))^2) \quad (3.11)$$

Выполнив замену и преобразования, целью которых является выделение постоянной составляющей в выражении момента, исходное уравнение (3.9) приводится к виду:

$$M_{BBI} = \frac{D_{III}}{2} \left[R_C + R_B \cos(\beta - \omega) - \frac{q \cdot D_{III} \cdot \sin(\beta - \omega)}{2} \right] \cdot \sin(\gamma - \omega) - \frac{D_{III}}{2} \left[R_B \sin(\beta - \omega) + \frac{q \cdot D_{III} \cdot \cos(\beta - \omega)}{2} \right] \cdot \cos(\gamma - \omega) + \frac{q \cdot D_{III}^2}{4} \quad (3.12)$$

Момент M_{BVI} будет постоянным, если сомножители в квадратных скобках в первом и втором слагаемых будут равны нулю:

$$\begin{cases} R_C + R_B \cdot \cos(\beta - \omega) - \frac{q \cdot D_{III} \cdot \sin(\beta - \omega)}{2} = 0, \\ R_B \cdot \sin(\beta - \omega) + \frac{q \cdot D_{III} \cdot \cos(\beta - \omega)}{2} = 0. \end{cases} \quad (3.13)$$

При этом величина M_{BVI} будет постоянна и равна третьему слагаемому $\frac{q \cdot D_{III}^2}{4}$. С учетом выражения (3.1) имеем для распределенной нагрузки:

$$q = \frac{4 \cdot E \cdot J \cdot \rho^I}{D_{III}^2} \quad (3.14)$$

Система уравнений (3.13) содержит три неизвестных величины: β , R_C , R_B . Для их определения используем условие деформации – расстояние между точками C и A изменятся на величину S . Данное условие записывается через параметры нагружения известным интегралом. Учитывая постоянство условия нагружения на двух участках и выражая элементарное линейное

перемещение ds через угловое $ds = \frac{D_{III}}{2} \cdot d\gamma$, имеем:

$$S = \int_{\omega}^{\beta-\omega} \frac{M_{CB} \cdot M_1}{E \cdot J} \cdot \frac{D_{III}}{2} d\gamma + \int_{\beta-\omega}^{\pi} \frac{M_{BVI} \cdot M_1}{E \cdot J} \cdot \frac{D_{III}}{2} d\gamma, \quad (3.15)$$

где M_{CB} – изгибающий момент на участке CB , Н*м,

$$M_{CB} = \frac{R_C \cdot D_{III} \cdot \sin(\gamma - \omega)}{2}; \quad (3.16)$$

где M_{BVI} – изгибающий момент на участке BVI , Н*м, M_1 – изгибающий момент от единичной нагрузки, приложенной в точке C и действующей в направлении точки A , Н*м.

$$M_1 = \frac{D_{III} \cdot \sin(\gamma - \omega)}{2}, \quad (3.17)$$

После выполнения соответствующих подстановок в уравнение (3.9) и интегрирования получаем:

$$S = \frac{R_C D_{ш}^3}{16EJ} \left[(\beta - 2\omega) - \frac{1}{2} \sin(2(\beta - 2\omega)) \right] + \frac{SD_{ш}}{2D_C} [\cos(\beta - 2\omega) + \cos \omega] \quad (3.18)$$

Решая систему уравнений, находим R_C, R_B :

$$R_C = \frac{4 \cdot E \cdot J \cdot S}{D_{ш}^2 \cdot D_C} \cdot \left(\frac{1}{\sin(\beta - \omega)} \right) R_B = - \frac{4 \cdot E \cdot J \cdot S}{D_{ш}^2 \cdot D_C} \cdot \text{ctg}(\beta - \omega) \quad (3.19)$$

Полученные выражения содержат угол β . Его значение определяется после подстановки значения R_C в уравнение (3.18).

После преобразований получаем:

$$\frac{D_{ш}}{D_C} \cdot \frac{1}{\sin(\beta - \omega)} \left[(\beta - 2\omega) - \frac{1}{2} \sin(2(\beta - 2\omega)) \right] + \frac{2D_{ш}}{D_C} [\cos(\beta - 2\omega) + \cos \omega] = 4 \quad (3.20)$$

Численное решение трансцендентного уравнения (3.20) позволяет определить угол β . После подстановки значения угла β в (3.19) по аналитическим выражениям рассчитываем R_C, R_B .

Несущая способность анкера определяется:

$$F = 2[R_C + R_B + qD_{ш}(\pi - \beta)] \cdot f \cdot k_l, \quad (3.21)$$

где R_C – сосредоточенная сила на торцах паза анкера, Н; R_B – распределенная сила в точках В и В₁, Н; q – распределенная нагрузка на сферической поверхности анкера Н/мм²; $D_{ш}$ – диаметр шпура, мм; β – угол, град.; k_l – коэффициент длины, определяется как отношение фактической длины рабочей части стержня к единичной длине, f – коэффициент трения скольжения в покое.

Исходя из полученных аналитических зависимостей возможно определить несущую способность анкера с учетом геометрических и прочностных характеристик его стержня. Несущая способность анкера с фрикционным закреплением (АФЗ) определяется как наименьшее из двух значений $F_{сд}$ и $P_{ка}$:

$$P_{на} = \min(F_{сд}, P_{ка}), \quad (3.22)$$

где $F_{сд}$ – сопротивление сдвигу анкера в шпуре, кН; $P_{ка}$ – нагрузочная способность конструкции АФЗ, кН.

При этом нагрузочная способность конструкции АФЗ определяется как минимальная величина из трех составляющих

$$P_{ка} = \min(P_{пл}, P_{ст}, P_{уп}), \quad (3.23)$$

где: $P_{пл}$ – нагрузочная способность опорной плиты, кН; $P_{ст}$ – нагрузочная способность стержня анкера, кН; $P_{уп}$ – нагрузочная способность упора, выполненного на стержне анкера, кН.

На основе разработанной методики расчета возведения анкерного крепления д.т.н. А.А. Зубкова [32], приведенной выше, была определена несущая способность фрикционного анкера с учетом влияния типа и материала усиливающей вставки.

Результаты лабораторных и опытно-промышленных испытаний различных конструкций СЗА: с усиленным фрикционным контактом (СЗА-УФК), с усиливающей деревянной вставкой (СЗА-Д), пластиковой вставкой (СЗА-П) позволили установить зависимость (рис. 3.12) приращения несущей способности от длины и типа вставки.

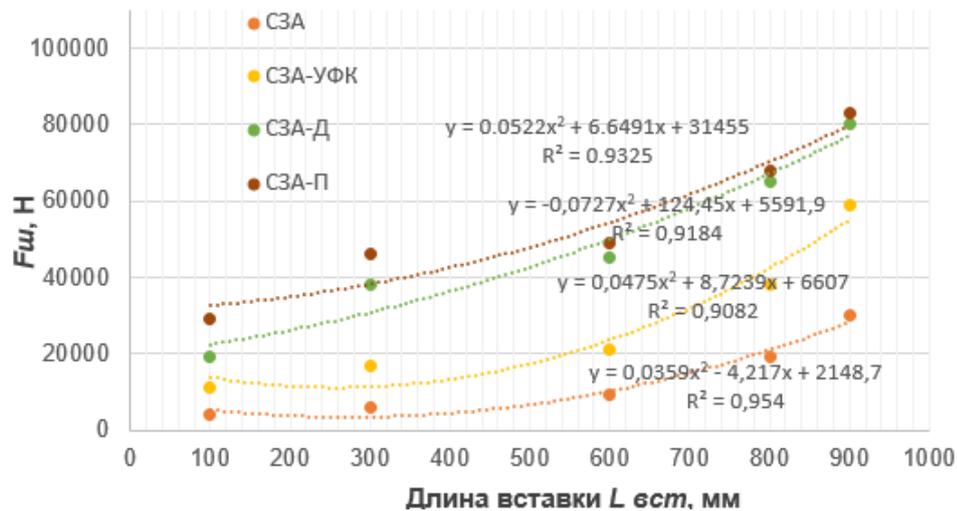


Рисунок 3.12 – Изменение несущей способности (F_u) анкера в зависимости от длины вставки ($L_{вст}$) различных конструкций СЗА

На основании выявленных зависимостей, установлено, что на несущую способность фрикционного анкера оказывает влияние тип и материал усиливающей вставки, т.е коэффициент приращения нагрузочной способности, который в случае использования комбинированного анкера с

клиновым распором $k_E=1,4\div 1,6$, для усиливающей фрикционное взаимодействие вставки изменяется от 1.5 до 3.0 и более и является функцией модуля упругости материала вставки (дерево или пластик):

$$k_E = f(E_{вст}), \quad (3.24)$$

где $E_{вст}$ – модуль упругости материала вставки, Н/мм².

Таким образом, уравнение 3.21. можно представить в виде:

$$F = L \cdot 2 [R_C + R_B + q \cdot D_w (\pi - \beta)] \cdot f \cdot k_l \cdot k_E, \quad (3.25)$$

где L – длина анкера, м.

Описание базовых и дополнительных условий и геомеханического состояния массива является основой для обоснования параметров крепления горных выработок при работе системами с закладкой выработанного пространства [39,28,70]. Анализ полученных результатов исследований эксплуатационных характеристик и несущей способности крепей фрикционного типа, позволил найти и проанализировать опыт использования численного моделирования для оценки устойчивости горных выработок на Гремячинском месторождении с учетом включения в конструкцию СЗА вставок с изменяющимися деформационными характеристиками, а также разработать и определить основные параметры крепления горных выработок Гремячинского месторождения. Численное моделирование выполнялось методом конечных элементов [51]. Расчетная схема приведена на рисунке 3.11.

Представленная на рисунке 3.13 расчетная схема в своей основе содержит основные характеристики геолого-структурного строения месторождения; физико-механических свойств горных пород, слагающих массив; основные горно-технологические факторы. Однако, следует отметить, что фактор сочетания слоев горных пород с различными прочностными и деформационными свойствами, отличающимся в несколько раз, в целом в указанной расчётной схеме учитывается не полностью. Расчетная схема не позволяет учесть возможное возникновение расслоений и отслаивания горных пород в кровле горной выработки, что может привести к изменению условий работы принятой к эксплуатации крепи на Гремячинском руднике.

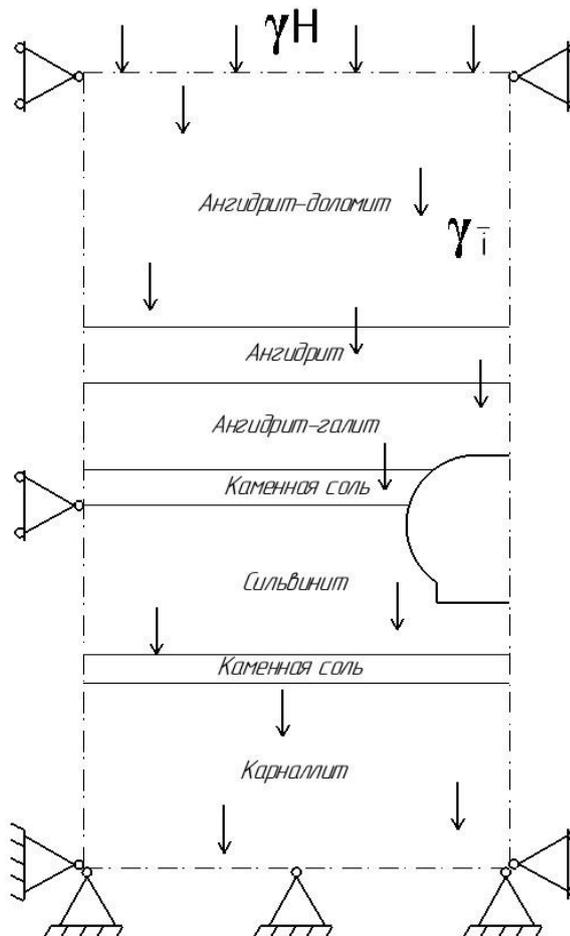


Рисунок 3.13 – Расчетная схема моделирования для программного комплекса Ansys

Для учета возможного расслоения или отслаивания отдельных слоев горных пород необходимо скорректировать расчетную схему. Опыт выполнения численного моделирования неустойчивых слоистых массивов горных пород [7] с развитием интенсивных расслоений и обрушений в толще подрабатываемого массива, свидетельствует, что целесообразно, с учетом особенностей и ограничений метода конечных элементов разработать постадийную расчетную схему, которая позволила бы выполнять расчеты возможного расслоения подрабатываемого массива.

Для формирования инженерно-геологической модели типичного разреза водозащитной толщи (ВЗТ) был проанализирован массив вмещающих пород в соответствии с проектной документацией и результатами выполненных НИР. Исходя из условий предполагаемого наиболее неблагоприятного сценария развития деформационных процессов в кровле горных выработок и толще ВЗТ, который связан с вероятностным отслоением толщи соляных

пород (галита и сильвинита) в кровле горной выработки, был принят вариант разреза, представленный в работе [6]. Систематизация параметров разреза, приведенных в указанной работе, позволила получить следующие характеристики геологического разреза для обоснования методических основ разработки геомеханической модели (снизу-вверх): подстилающая каменная соль; слой карналлита, мощность – 1 м; сильвинит, мощность – 5 м; каменная соль, мощность – 1 м; ангидрит-доломитовая порода – 17 м; каменная соль – 4 м; покрывающая ангидрит-доломитовая порода.

Физико-механические свойства пород, слагающих разрез приняты по рекомендации работы [11] и представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Принятые при моделировании физико-механические свойства пород Гремячинского месторождения

Порода	D, ГПа	μ	C, МПа	ϕ , °	γ , 10^4 Н/м ³
Ангидрит-доломит	6,8	0,24	11,6	39	2,8
Каменная моль	1,2	0,30	9,5	29	2,2
Сильвинит	1,0	0,30	7,5	29	2,2
Карналлит	1,1	0,38	3,6	18	2,2
Условные обозначения: <i>D</i> – модуль деформации, <i>μ</i> – коэффициент Пуассона, <i>C</i> – сцепление, <i>ϕ</i> – угол внутреннего трения, <i>γ</i> – удельный вес					

Условия нагружения и деформирования горных пород приняты согласно упругопластической модели Кулона-Мора. Для моделирования контакта в разрабатываемой модели принят упругий материал, по свойствам аналогичный резине: $D = 5$ МПа, $\mu = 0,49$.

Геометрически конечно-элементная модель представляет из себя область, размеры которой определяются из общепринятых правил – 5-6 м, крайнее превышение поперечных размеров горной выработки (вертикальный размер принят 5 высот выработки, горизонтальный размер – 6 горизонтальных пролетов выработки). В качестве выработки используется проектное сечение, которое учитывает параметры комбайна Урал-20Р. Для моделирования контактов добавлены специальные вставки, мощностью 0,2 м, расположенные выше горной выработкой. Каждая вставка разбита на три области: область непосредственно над выработкой и области по бокам от выработки (рис. 3.14).

В качестве граничных условий использовался ряд правил:

- ограничение перемещений в вертикальной плоскости по нижней грани модели;
- ограничение перемещений в горизонтальной плоскости по боковым граням модели;
- дополнительные граничные условия, связанные с заменой свойств материалов в модели для моделирования различных вариантов работы горной выработки в сочетании с межпородными контактами.

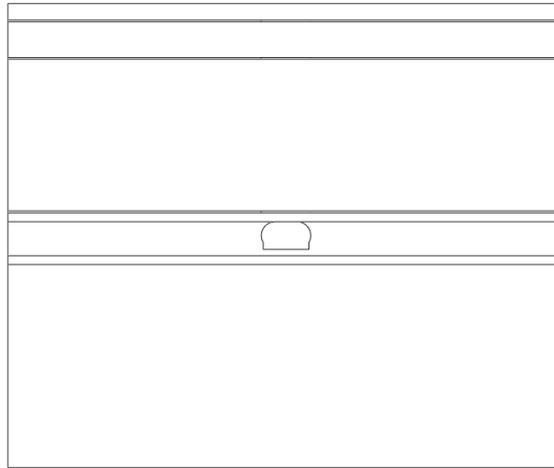


Рисунок 3.14 – Геометрическая схема конечно-элементной модели

Для нагружения модели использовалось два вида нагрузок:

- собственная сила тяжести горных пород, слагающих инженерно-геологическую модель;
- сила тяжести вышележащей толщи горных пород, которая задавалась в виде распределённой нагрузки на верхние границы модели и составила 24 МПа;
- горизонтальные усилия от действия свойств распора гравитационных сил и тектонических составляющих субгоризонтальных сил в плоской модели.

Окончательный вид конечно-элементной модели представлен на рисунке 3.15.

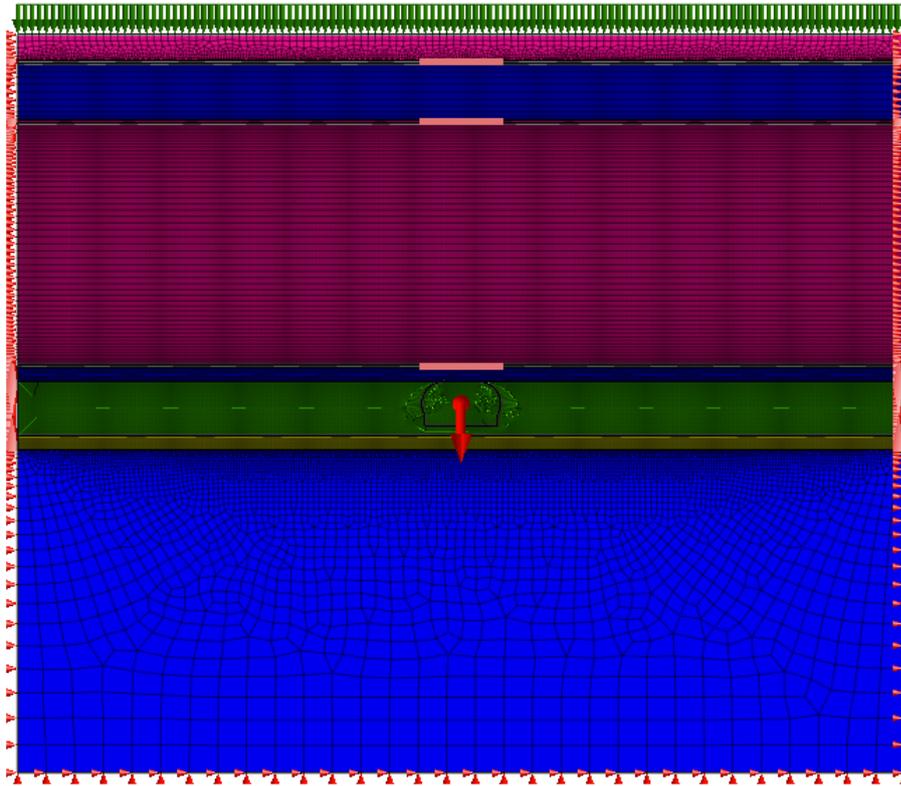


Рисунок 3.15 – Общий вид конечно-элементной модели

Для изучения различных вариантов развития процессов формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород использовались возможности программного пакета для численных расчетов методом конечных элементов Midas GTS NX, применяемые для выполнения специальных расчетов с учетом стадийности работ по антропогенному воздействию на массив.

Согласно принятым параметрам конечно-элементной модели всего было разработано и просчитано 8 сценариев для обоснования методических подходов к моделированию изменения НДС слоистой толщи.

Установлено, что наиболее достоверным является сценарий моделирования нагружения и деформирования массива горных пород при моделировании межпородного контакта, который заключался в следующем: после получения исходных характеристик НДС моделируемого участка массива горных пород, совместно с проведением горной выработки активируются граничные условия по замене материала контакта, что влечет совместное деформирование кровли горной выработки и слабого материала,

моделирующего поведение межпородного контакта. На последнем шаге расчета деформируемый слабый материал межпородного контакта удаляется из модели, что соответствует полному отрыву и разрушению межпородного контакта. Результаты расчета смещений элементов массива представлены на рисунках 3.16-3.18.

Анализ результатов моделирования позволил установить:

— совместное воздействие граничных условий по активированию слабых свойств слоистого материала, моделирующего межпородный контакт, и деформирование массива горных пород в окрестностях горной выработки приводит к корректной форме изменения деформационного состояния расслаивающегося массива горных пород;

— моделирование разрушения межпородного контакта приводит к изменению НДС пород кровли, которое влечет уменьшение перемещений в породах кровли и увеличение перемещений в вышележащих устойчивых породах.

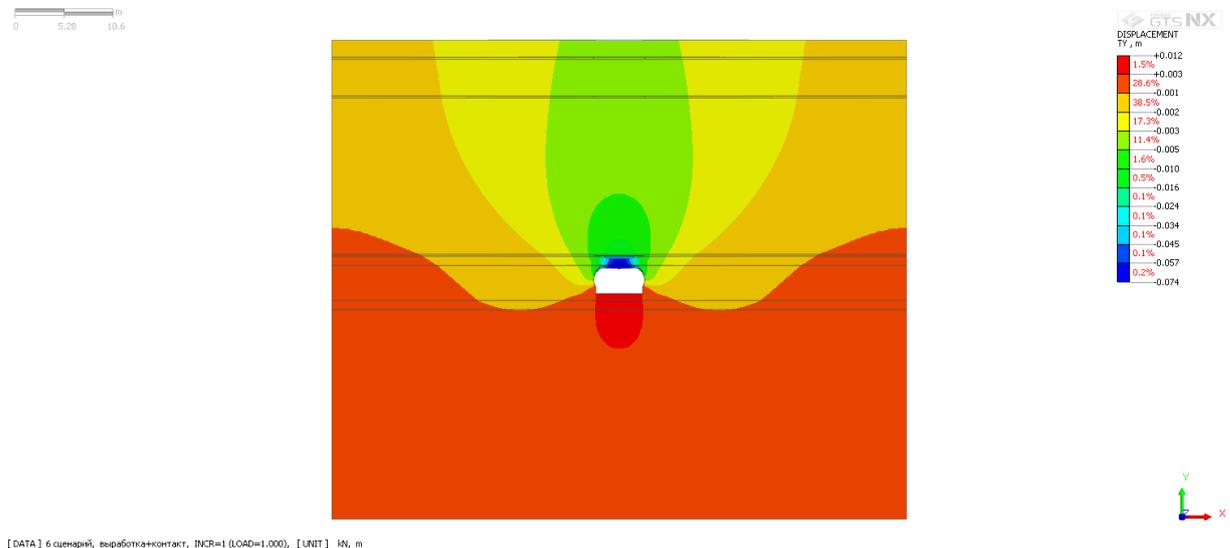


Рисунок 3.16 – Результаты расчета смещений элементов при совместном взаимодействии горной выработки и слабого межпородного в кровле

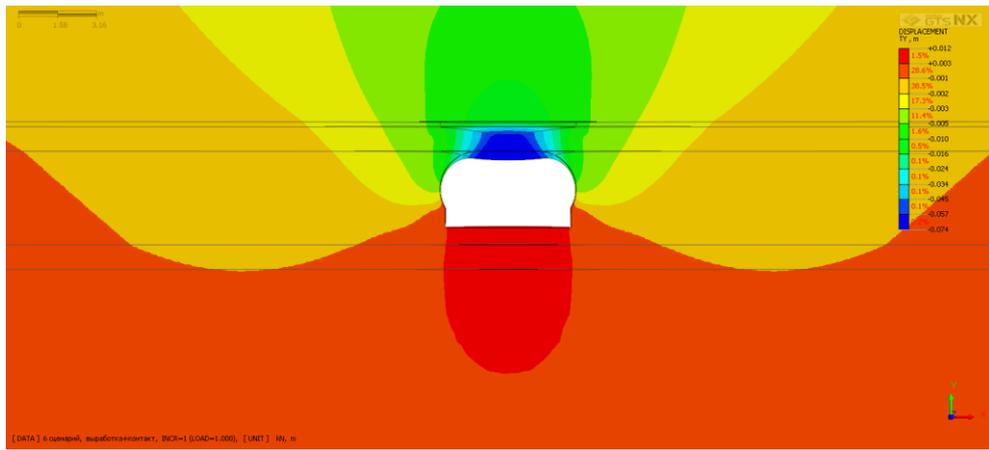


Рисунок 3.17 – Детализировка картины деформирования пород кровли горной выработки при наличии слабого межпородного контакта

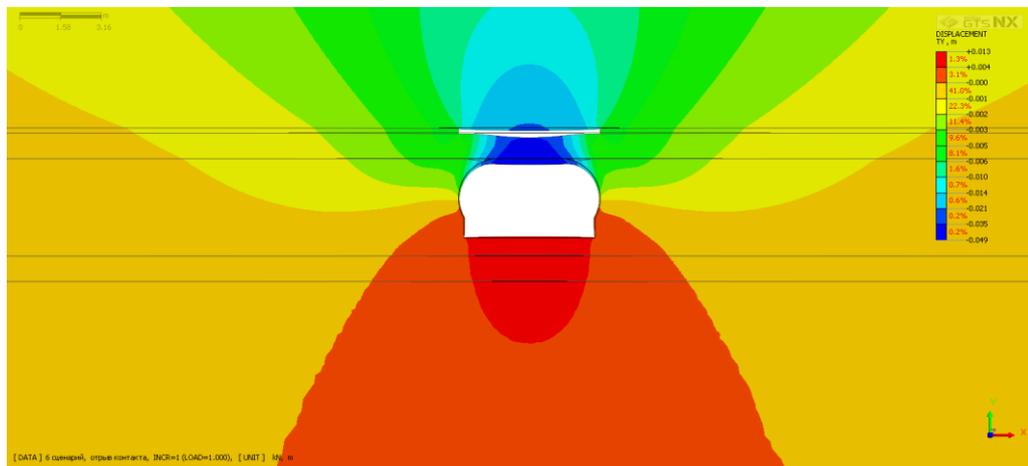


Рисунок 3.18 – Результаты моделирования смещений элементов с формированием отрыва межпородного контакта на заключительном шаге расчета

Таким образом, сделан вывод, что из-за ограничений применяемого расчетного метода, моделирование расслаивающегося массива горных пород с образованием контактных трещин в местах расслоения дает качественные результаты и не позволяет оценить количественно характер нагружения элементов крепи.

Для проверки влияния свойств материала, моделирующего работу слабого межпородного контакта, был выполнен расчет по двум дополнительным сценариям. Основа обоих сценариев – рассмотрение совместного воздействия слабого межпородного контакта и горной выработки. Различие заключается лишь в упругих свойствах материала, моделирующего межпородный контакт: в первом случае модуль деформаций

принимался 100 кН/м^2 (рис. 3.19), а во втором – на два порядка ниже 1 кН/м^2 (рис. 3.20).

Анализ результатов, представленных на рисунках 3.16 и 3.17, позволил установить: упругие свойства материала, используемого для моделирования межпородного контакта, необходимо принимать с минимально-возможными значениями для снижения эффекта искусственного поддержания пород кровли.

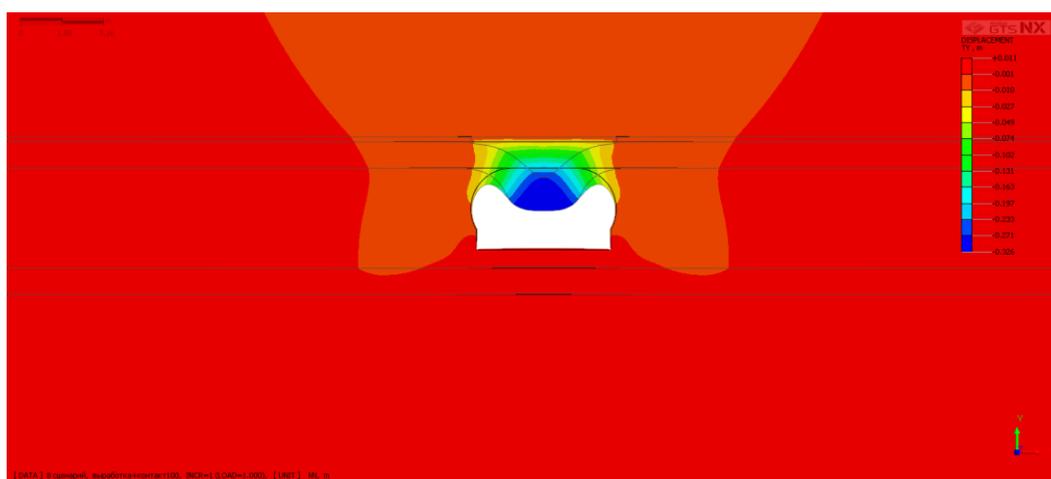


Рисунок 3.19 – Распределение вертикальных перемещений в кровле горной выработки при значении модуля деформации материала межпородного контакта 100 кН/м^2

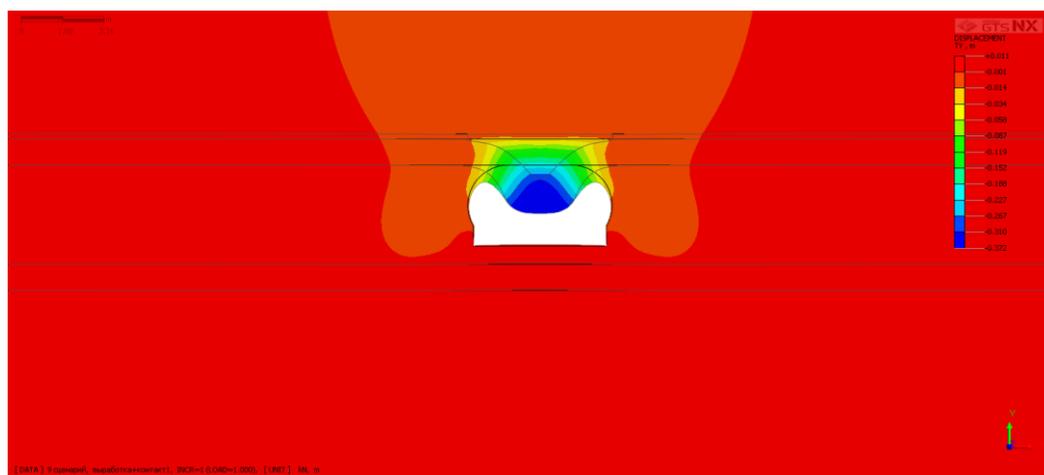


Рисунок 3.20 – Распределение вертикальных перемещений в кровле горной выработки при значении модуля деформации материала межпородного контакта 1 кН/м^2

На основе анализа результатов выполненных численных экспериментов, описание которых приведено выше, удалось сформулировать следующие

основные методические положения по разработке цифровых геомеханических моделей:

1. Расчетные схемы целесообразно готовить в двух вариантах. Первый – оценка расчетной схемы. На этом этапе определяются основные параметры схемы: область распространения влияния горной выработки на межпородные контакты, оценка напряженного состояния соляных пород и определение или обоснование необходимости включения в модель сложных вязкопластических прослоев соляных пород с последующим усложнением модели и корректировкой расчетной схемы в части добавления координаты времени в виде самостоятельных координат модели. Вторым вариантом – реализация расчетной схемы с учетом всех необходимых факторов и нелинейных характеристик модели.

2. Для соляных пород целесообразно использовать двухстадийный расчет. На первой стадии необходимо выполнить оценку максимальных сжимающих напряжений, действующих на соляные породы в рассматриваемой расчетной схеме. При приближении или превышении расчетных напряжений пределов длительной прочности пород необходимо использовать сложные вязкопластические модели, которые полностью реализуют реологические свойства соленых пород, причем период для расчета модели должен соответствовать, как минимум, сроку эксплуатации горной выработки, включенной в расчетную схему.

3. Для прочных пород (ангидрит-доломитовые и доломитовые породы) целесообразно использовать упругопластические модели, которые позволяют отследить запредельную стадию деформирования горных пород с последующим разрушением и произвести учет эффекта наличия остаточной прочности у разрушенного материала при отсутствии растягивающих напряжений на разрушенных участках модели.

4. Моделирование межслоистого контакта целесообразно выполнять вставками полос в принятую для расчетной схемы инженерно-геологическую модель, мощностью 0,1 м, не имеющих собственной силы тяжести и

обладающих свойствами контакта, принятыми для одной из наиболее слабых пород, которые полностью реализуют модель деформирования этой горной породы. На соответствующем этапе расчета в области расслоения контакта необходимо заменить материал горной породы на абсолютно упругий материал с минимально-допустимым модулем деформации, обеспечивающим сходимость нелинейного расчета.

5. При построении инженерно-геологической модели необходимо привлекать результаты натурных наблюдений для калибровки свойств горных пород и конструктивных элементов горнотехнической системы для адекватного и правильного моделирования процесса формирования НДС приконтурного массива и ответственных конструктивных элементов горнотехнической системы.

6. Согласно методическим положениям, разработаны основные рекомендации по разработке и тестированию модели нагружения усовершенствованной анкерной крепи со вставками с изменяющимися деформационными характеристиками в слоистой кровле. Последующие стадии, реализуемые после первых двух основных, оценивают различные варианты изменения НДС массива, причем количество расчетных итераций не ограничено.

Выводы по 3 главе

1. Обоснован механизм нагружения и деформирования анкеров фрикционного типа в крепких и устойчивых породах и в более слабых, слоистых массивах с прослоями соляных пород.

2. Анализ основных конструкций анкерной крепи, условий эффективного ее использования, а также принципов обеспечения устойчивости контура горной выработки показал, что применение анкеров с закреплением по всей длине целесообразно при интенсивном расслоении пород и «обыгрывании» штанг в сильнотрещиноватых породах, а также при

большом сроке службы выработки, наличии агрессивных к металлу агентов. Металлические самозакрепляющиеся анкеры способны воспринимать нагрузку сразу после их установки, поэтому их применение эффективно в выработках с быстрым развитием проявлений горного давления.

3. Приведена методика расчета параметров анкерного крепления прочных пород анкерами СЗА, позволяющая строго рассчитать параметры анкеров, сетку и паспорт крепления горных выработок в устойчивых ангидритах и доломитовых породах.

4. Для обеспечения устойчивости горных выработок в слабых породах предложены конструкции крепи на основе фрикционных анкеров с усовершенствованным типом закрепления.

5. Определены методические положения для определения расчетной нагрузки на анкеры в сложноструктурном массиве соляных пород как исходная модель для оценки базового напряженно-деформирования состояния массива пород при установке анкеров. Согласно методическим положениям разработаны основные рекомендации по формированию и тестированию модели нагружения усовершенствованной анкерной крепи со вставками с изменяющимися деформационными характеристиками в слоистой кровле соляных месторождений.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГРЕМЯЧИНСКОГО РУДНИКА, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

4.1 Разработка технологических рекомендаций по совершенствованию вида, конструкции и технологии анкерного крепления

Усовершенствованная конструкция анкерной крепи СЗА с закреплением в шпурах фрикционным способом, применяемая для обеспечения устойчивости подземных горных выработок и испытанная в трех вариантах конструктивного исполнения (см. рис. 3.3-3.5), в соляных породах показала более высокую несущую способность, по сравнению с ранее установленными анкерами КРА и СЗА. Все инновационные анкеры прошли успешно испытания и показали, что их несущая способность превышает 50 кН.

Испытаниями доказано, что для обеспечения устойчивости конструктивных элементов массива горных пород вглубь на прогнозируемую зону развития критических деформаций с учетом расположения анкеров в кровле подготовительных выработок и установленных величин деформаций в кровле и боках выработки при наличии слоистых соляных пород предпочтительно использовать анкер на основе СЗА с внедрением в него деревянных или полимерных вставок с видом закрепления, позволяет закрепить породы в неустойчивой зоне и при этом не превысить нормативные смещения пород в приконтурной зоне выработки и сохранить несущую способность анкера по всей длине. При этом наилучшие характеристики и несущую способность показали анкеры с усиленной и деревянной вставкой. Несущая способность таких анкеров при испытаниях свыше 50 кН, причем непосредственно сразу после возведения в соляных породах, и свыше 80 кН в ангидритах и доломитах [60].

Следует отметить, что при установке клинораспорного анкера в шпур в соляных породах в районе замка нарушаются условия зацементации, и нагрузка от отслоившихся пород передается на опорную плиту и гайку. Конструкция опорной плиты и гайки в анкере КРА не рассчитана на восприятие этой нагрузки. Практика показала, что в этом случае происходит выдергивание анкера и обрушение горных пород.

За счет того, что конструкция анкера СЗА с дополнительными деревянными и полимерными вставками с большим коэффициентом поперечного расширения закрепляется по всей длине стержня, в соляных породах происходит дополнительное увеличение сил горизонтального зажима. Экспериментально установлено, что несущая способность со временем нагружения этого типа анкеров растет. Этот факт зафиксирован в динамике экспериментально.

Сравнение результатов выполненных испытаний, проведенных через 3 месяца после установки крепей КРА и СЗА, свидетельствуют о достаточной несущей способности крепей фрикционного типа в прочных ангидрит-доломитовых породах и о преимуществе использования анкерной крепи типа СЗА в агрессивной среде Гремячинского рудника, за счет защиты анкера специальными полимерными покрытиями. Однако, для закрепления обнажений подземных выработок, пройденных в галит-ангидритовых породах, каменных солях и сильвинитах, несущая способность и тех и других анкеров не достаточна – 25-30 кН, необходимо использовать анкеры с другим типом закрепления и иными параметрами антикоррозионного покрытия.

Для испытаний были разработаны принципиально новые конструкции усовершенствованной анкерной крепи с фрикционным типом закрепления и расширяющимися вставками, с учетом выполнения базовых положений:

- анкер должен иметь замок 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.

Экспериментальные испытания эксплуатационных характеристик и несущей способности инновационной анкерной крепи на основе сочетания крепи СЗА и КРА с дополнительными вставками в стержень анкера выполнены в условиях проходки и эксплуатации подземных горных выработок подземного рудника Гремячинского ГОКа ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» при участии представителей недропользователя, головного института академии наук ИПКОН РАН (Москва) – инициатора разработки Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости подземных горных выработок при разработке месторождений твердых полезных ископаемых» и организации-изготовителя анкерной крепи – ООО «УралЭнергоРесурс», разработавшей с участием автора диссертации конструкцию крепи, применительно к условиям Гремячинского месторождения, запатентовавшей ее и осуществившей изготовление опытной партии крепей инновационного усовершенствованного типа [59].

Результаты опытно-промышленных испытаний использованы для обоснования параметров паспорта крепления горных выработок Гремячинского подземного рудника

Испытания проведены в соответствии со следующим перечнем нормативных документов:

- ФНиП «Правила безопасности при ведении горных работ и переработки твердых полезных ископаемых»;
- ГОСТ 31559-2012 «Крепи анкерные. Общие технические условия»;
- ГОСТ Р 54773-2011 «Крепи анкерные. Методы испытаний анкеров»;
- СП 91.13330-2012 «Подземные горные выработки»;
- СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии».

Проверке подлежали геометрические и несущие характеристики анкерной крепи. К геометрическим характеристикам относятся линейные размеры и диаметр анкера в сборе и отдельных элементов анкерной крепи.

Измерения выполнялись в соответствии с ГОСТ Р 54773–2011 «Крепи анкерные. Методы испытаний анкеров». Проверялись следующие размеры стержня:

l - длина анкера, мм;

d - диаметр стержня анкера, мм;

s - толщина стенки стержня фрикционного анкера, мм;

h - высота упора, мм;

b - ширина упора, мм.

При проведении промышленных испытаний предельная несущая способность анкера определялась путем его выдергивания с помощью прибора контроля анкерной крепи (ПКА), обеспечивающего передачу усилий в диапазоне $50 \div 100$ кН крепи, с надежным соединением прибора контроля с анкером. Для оценки условий эксплуатации (преимущественно временного фактора) в характерных горно-геологических условиях рудника испытаний подлежали анкеры, установленные в выработках, со сроком эксплуатации более 3 месяцев. Пример проведения испытания анкерной крепи с фрикционным типом закрепления с использованием прибора ПКА-3 с комплектом переходных устройств приведен на схеме рисунка 4.1.

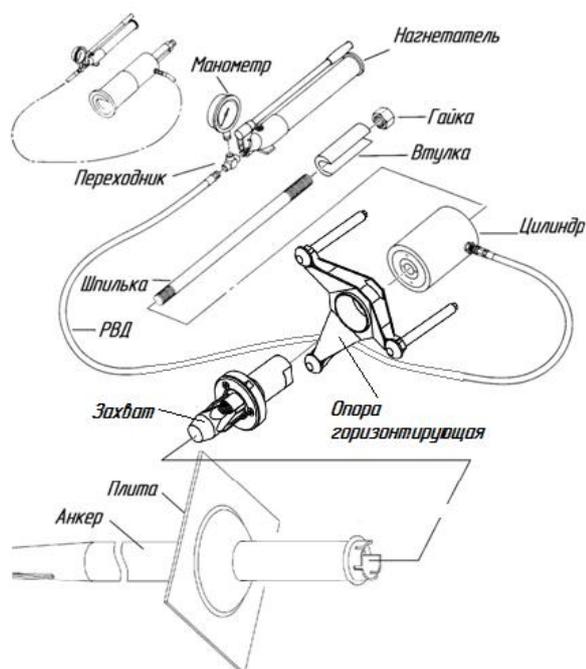


Рисунок 4.1 – Схема сбора анкера для испытания несущей способности анкерной крепи с фрикционным типом закрепления и расширяющимися вставками в стержне

Схемы расположения анкеров на экспериментальных участках представлены на рисунке 4.2.

Для проведения эксперимента при выборе параметров d и l , m , руководствовались «Временным положением по креплению и поддержанию горных выработок на руднике Гремячинского ГОКа» с учетом дополнений (Пермь, 2022 г.). При испытаниях оценена работа анкеров, с длиной анкера 1.8 м, с расположением анкеров по схемам:

вариант 1: 0,8 x 0,8 м - шахматное расположение;

вариант 2: 1,0x1,0 м - квадратное расположение;

вариант 3: 1,0x1,0 м - шахматное расположение;

вариант 4: 1,2x1,2 м - квадратное расположение;

вариант 5: 1,2x1,2 м - шахматное расположение;

вариант 6: 1,5x1,5 м при условии увеличения длины анкера до 2,5 м.

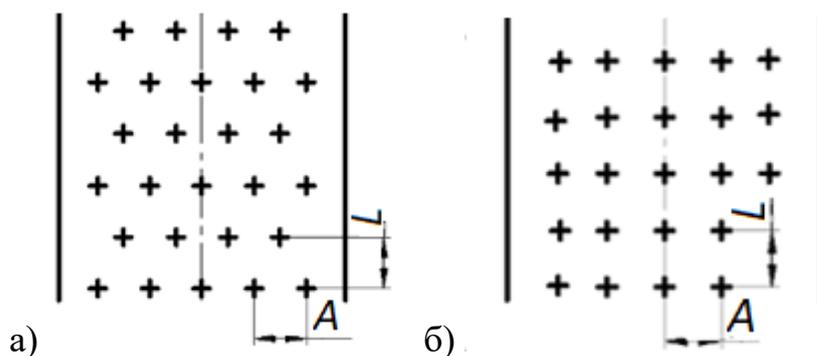


Рисунок 4.2 – Схемы расположения анкеров при опытно-промышленных испытаниях: а - в шахматном порядке, б – в квадратном порядке, A - расстояние между анкерами одного ряда, L -расстояние между рядами скважин

В целом получены положительные результаты испытаний, в том числе вариантов 4 и 5, и принято решение о возможности расширить сетку до 1,5 x 1,5 м при условии устойчивого состояния кровли в течение не менее одного года. В условиях выработок, выбранных для испытаний на Гремячинском руднике, такая сеть прошла положительную проверку. При выборе экспериментальных участков учитывается вещественный состав и неоднородность строения кровли горных выработок с различными сочетаниями горных пород в кровле.

По результатам экспериментальных исследований участки, сложенные

представительными литологическими разностями пород, должны обеспечить во всех случаях надежную и безопасную эксплуатацию выработок их устойчивость. По результатам эксперимента предложено расширить масштабы применения усовершенствованной крепи, при этом предусмотрено:

- анкер располагают в ангидрит-доломитовых породах;
- анкер полностью располагают в соляной толще;
- анкер располагается в толще, содержащей разномодульные слои (сочетание соляных и ангидрит-доломитовых) пород, но предпочтительно расширяющиеся вставки в стержень расположены в соляных породах;
- анкер располагается в разномодульной толще: стержень анкера – в соляных породах, усиленная его часть в прочных ангидрит-доломитовых породах.

4.2 Выбор типа крепи горных выработок с учетом особенностей геологического строения и геомеханического состояния массива горных пород Гремячинского месторождения

Как указано в 2.4, строение кровли сильвинитового пласта, чаще всего, представлено следующими разностями горных пород (снизу-вверх): сильвинит > замещение каменной солью > каменная соль > ангидрит-галитовая порода > ангидрит > ангидрит-доломитовая порода с включениями галита.

Удержание массива кровли горной выработки происходит за счет сил трения, которые вовлекают в процесс деформирования более прочные ангидрит-доломитовые породы и препятствуют быстрому расслоению массива. Поэтому упрочнение массива при расслоении пород кровли должно происходить за счет включения в работу всего тела анкера.

Согласно требованиям безопасности, горные выработки в течение всего периода их существования (от проведения выработки до погашения) должны сохранять форму и размеры, требуемые для безопасного ведения горных работ

и нормальных условий эксплуатации. Проектирование крепей выработок должно производиться, исходя из условий снижения трудоемкости, материалоемкости в пределах сметной стоимости строительства предусмотренных проектом по механизации, и автоматизации работ.

Место размещения выработок существенно влияет на их устойчивость, поэтому выбор схемы размещения выработок необходимо осуществлять с учетом общих компоновочных решений проектом разработки месторождения, при этом, по возможности, следует:

- располагать главные вскрывающие выработки преимущественно в устойчивых породах, а при их отсутствии – вкрест простирания слоистости или трещиноватости пород;
- избегать расположения выработок в зонах крупных тектонических нарушений;
- располагать параллельные выработки так, чтобы продольные оси смежных выработок находились в плоскости, параллельной, или близкой к вектору ориентации максимальных сжимающих напряжений. Если же по технологическим соображениям параллельные выработки необходимо располагать в плоскости, перпендикулярной вектору максимальных сжимающих напряжений, то расстояние между осями выработок должно быть не менее четырех диаметров (пролетов) наибольшей из сближенных выработок.

Выбор конструкции и определение параметров крепи выработки должно производиться дифференцированно по участкам пород с одинаковыми свойствами, исходя из обоснования их устойчивости с учетом действующих нагрузок на крепь, обеспечения надежности и безопасности работ в течение всего срока эксплуатации выработки.

В соответствии с результатами проведенных испытаний для горно-геологических условий, характерных для Гремячинского месторождения, рекомендуются анкеры типа СЗА-УФК, конструктивно отличающиеся наличием вставки, длиной 200-300 мм, усиливающей фрикционный контакт

(УФК), из материала с модулем упругости равным или меньше стали, а стальной стержень за местом установки вставки предусмотрен участок с некруглым сечением профиля. По результатам испытаний положительно зарекомендовала себя вставка, обеспечивающая равномерное распределение жесткости СЗА, локализованных в головной части.

На основе результатов выполненных опытно-промышленных испытаний и с учетом особенностей изготовления, условий транспортирования, общей стоимости крепи, а также параметров ее установки и использования, для дальнейших опытно-промышленных испытаний и применения при креплении подготовительных выработок в условиях соляных пород низкой и средней крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова $f \geq 3$, в том числе, «соль», «соль-ангидрит», «ангидрит» и т.п. горно-геологических условий, характерных для Гремячинского месторождения, рекомендуются: самозакрепляющаяся анкерная крепь, производства ООО «УралЭнергоРесурс», СЗА-УФК-1850-48 с АКП типа ПНД, где СЗА-УФК – тип анкера: самозакрепляющийся анкер с усиленным фрикционным контактом; 1850 – минимальная длина анкера, мм; 48 – диаметр стержня анкера, мм; АКП – антикоррозионное покрытие, представленное ПНД – полиэтиленом низкого давления. Конструкция рекомендуемого анкера приведена на рисунке 4.3

Указанные параметры анкера обеспечивают нормативную величину несущей способности в породах, крепостью f менее 4 по шкале М.М. Протодяконова, с коэффициентом запаса устойчивости не менее 1,2.

С учетом коэффициента запаса устойчивости 1,2, для расчетов параметров установки крепи целесообразно принимать величину несущей способности в соответствии с требованиями ГОСТ 31559-2012 для анкеров с фрикционным видом закрепления - 50 кН. Далее в процессе эксплуатации выработки расчетные параметры могут корректироваться, исходя из фактической величины несущей способности и необходимого коэффициента запаса устойчивости.

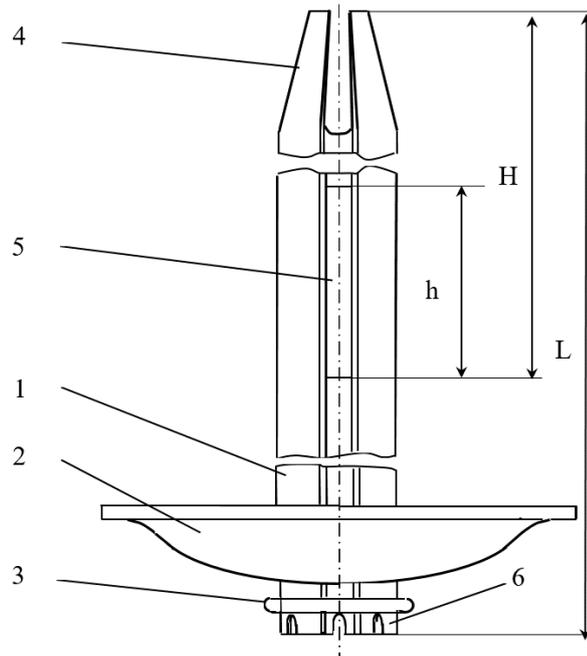


Рисунок 4.3 – Конструкция анкера СЗА-УФК-1850-48 с АКП типа ПНД: 1 - стержень анкера СЗА по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся анкерная крепь»; 2 - опорная плита СЗА по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся анкерная крепь»; 3 - кольцо опорного узла по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся анкерная крепь»; 4 - конусная (головная) часть анкера; 5 - усиливающая вставка УФК - усиленного фрикционного контакта; 6 - сектора, формирующие при установке опорный узел анкера; h - длина усиливающей вставки, $h=200\div 300$ мм; H - расстояние от края анкера до края вставки УФК, $H=270\div 400$ мм; L – длина анкера, $L\geq 1850$ мм; \varnothing - диаметр анкера, 48 мм

При проходке выработок в слабоустойчивых породах выработку до и после ослабленного участка массива следует крепить анкерами по схеме, представленной на рисунке 4.3. При проходке выработки в устойчивых породах требуется крепление, аналогично креплению выработки на слабоустойчивом участке, на расстоянии, равном ширине выработки от забоя.

Контроль состояния горных выработок в процессе их проходки и эксплуатации осуществляется техническим надзором участка и участковым геологом в ходе проведения опытно-промышленных испытаний крепи при проходке подготовительных выработок.

Следует отметить, что испытания инновационной крепи ЧСЗА при проходке и эксплуатации подготовительных выработок в условиях сложного строения кровли соляных пород будут продолжены с оценкой динамики

набора прочности. Они выполняются в соответствии с принятой методикой и в настоящее время.

Инновационная конструкция крепи СЗА-УФК соответствует предъявляемым к ней требованиям согласно Федеральным законам «О техническом регулировании» (№ 184-ФЗ от 27.12.2002) и «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (№ 116-ФЗ от 21.07.1997). Используемые технические решения уже ранее были испытаны и освоены в производстве. Сопроводительная техническая документация (паспорт изделия и руководство по эксплуатации) будут дополнены в соответствующем порядке в части уточнения условий применения в породах крепостью $f < 4$.

В результате проведенных испытаний зафиксировано, что целесообразно использовать инновационные анкерные крепи на основе усовершенствованного вида закрепления. Использование твердеющих составов на основе цементов или полимерных композиций мало эффективно, поскольку после смещений структурных отдельностей массива (слоев) происходит нарушение связей между анкером, твердеющим составом и породой.

Усовершенствованная конструкция анкеров фрезерного типа СЗА-УФК, имеющая усиление в головной части анкера показала хорошие результаты при испытании несущей способности. В качестве усиливающей вставки рекомендуется использовать материал, усиливающий упругость замковой части. При экспериментальных исследованиях в качестве вставки использовались: дерево, дерево-пластик, пластик, металлический клин.

4.3 Обоснование параметров анкеров фрикционного типа в типовых условиях строения кровли подземных выработок

К основным параметрам анкерного крепления фрикционного типа относят: длину и расстояние между анкерами, диаметр анкерных стержней.

На основании известных и широко апробированных методик, учитывая горно-геологические условия строительства выработок Гремячинского подземного рудника целесообразно расчет-обоснование параметров анкерной крепи осуществлять на основе теории подвешивания (удержания) пород в кровле.

Из опыта поддержания выработок анкерной крепью и экспериментов на моделях известно, что наиболее неблагоприятным для крепи случаем является такое напряженно-деформированное состояние массива горных пород, при котором происходит разрушение пород по контуру выработки.

Представленные расчетные схемы для выбора параметров анкерной крепи исходят из наиболее неблагоприятного случая – нарушения условия устойчивости сдвигу по структурным нарушениям. Если в конкретном случае нарушение пород по контуру не произойдет, то крепь с расчетными параметрами будет иметь определенный резерв и заведомо обеспечит устойчивость выработки [14].

Разрушенные породы в зоне, ограниченной контуром 1 (рис. 4.4), нагружают своей собственной силой тяжести упрочненный штангами несущий породный свод, ограниченный контуром 2. В реальных условиях несущий породный свод связан с окружающим массивом вмещающих пород. Прочность связи зависит от большого количества факторов, учет которых практически не реален. Для определенности решения поставленной задачи сделано допущение об отсутствии связи свода обрушения с массивом, то есть вновь рассматривается крайний, наиболее неблагоприятный случай.

Расчетная нагрузка на несущую породную арку определяется по гипотезе свода естественного равновесия, при этом вертикальная распределенная нагрузка составит:

$$q = \gamma \cdot L_B , \quad (4.1)$$

где: L_B – высота свода естественного равновесия (м), определяемая по известной формуле:

$$L_B = \frac{B+C}{f \cdot k_C} , \quad (4.2)$$

где: B – полупролет выработки в проходке, м; f – коэффициент крепости пород кровли по М.М.Протодяконову, K_c – коэффициент структурного ослабления массива горных пород.

Ширина призмы сползания:

$$C = (\overleftarrow{h} + h_c) \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi_6}{2} \right), \quad (4.3)$$

где: $h + h_c$ – высота выработки, м, ϕ_6 – угол внутреннего трения вмещающих горных пород, град.

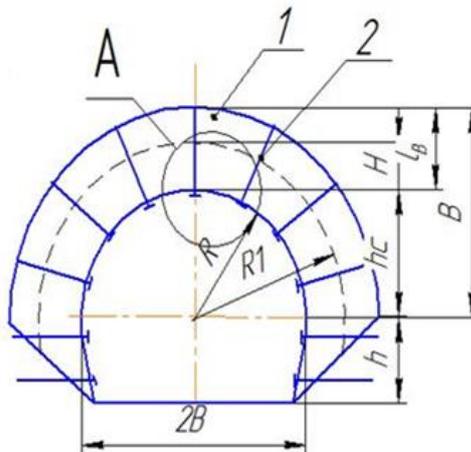


Рисунок 4.4 – Схема формирования несущей конструкции в нарушенных породах 1 - зона разрушенных пород; 2- упрочненный штангами несущий породный свод

«Кажущийся» угол внутреннего трения ϕ_6 принимается с учетом типа породы и её нарушенности трещинами, в соответствии с данными таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Кажущийся угол внутреннего трения ϕ_6

Породы	Кажущийся угол внутреннего трения при значениях K_c			
	до 0,2	0,2-0,4	0,4-0,7	более 0,7
Осадочные	55	60	65	70
Интрузивные	60	65	70	75

Если вычисленное значение $L_B < H$, то удельная нагрузка вычисляется по весу пород в пределах несущего свода, МН/м²:

$$q = \gamma \cdot H. \quad (4.4)$$

Произведем расчет параметров анкерного крепления по следующим исходным данным:

- ширина выработки – 5,5 м.,

- высота выработки – 3,1 м.,
- полупролет выработки - 2,75 м.,
- высота боков выработки – 0,89 м.,
- высота сводчатой части выработки – 2,21 м.,
- угол внутреннего трения – 30 градусов,
- объемный вес пород– 0,012 МН/м³,
- коэффициент структурного ослабления – 1,
- коэффициент крепости пород по М.М. Протодяконову – 4,
- кажущийся угол внутреннего трения – 60 градусов.

Тогда высота зоны возможного обрушения составит:

$$L_B = \frac{B}{f \cdot k_C} = \frac{3,1}{4 \cdot 1} = 0,76 \text{ м.}$$

Расчетная вертикальная распределенная нагрузка:

$$q = \gamma \cdot L_B = 0,012 \cdot 0,76 \cdot 1000 = 9 \text{ кПа.}$$

Плотность установки анкеров в кровле:

$$S_{\text{ан}} = \frac{q \cdot K_3}{q_{\text{анк}}} = \frac{9 \cdot 2}{50} = 0,36 \text{ шт/ м}^2.$$

Расстояние между анкерами:

$$A = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{ан}}}} = \sqrt{\frac{1}{0,36}} = 1,6 \text{ м.}$$

Данный расчет выполнен с учетом однородности кровли. Анализ геологического строения массива горных пород Гремячинского месторождения показывает наличие расслоений в кровле выработок и преимущественного присутствия каменной соли, мощностью от 0÷0,4 до 1,5 м. Соответственно, рабочая часть анкера должна обеспечить устойчивость поддерживаемой зоны на высоту не менее 1,5 м с учетом зоны возможного расслоения, т.е. минимальная длина анкерования составляет 1,8-2,0 м., а расстояние между анкерами – 0,9-1,2 м.

Рекомендуемые расчетные параметры крепи фрикционного типа при креплении подготовительных горных выработок при средней мощности галит-

ангидритовой породы для I типа кровли – 1,2м., для II типа кровли – 0,8м представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Рекомендуемые параметры крепи фрикционного типа СЗА при креплении подготовительных горных выработок

Тип кровли, толщина галит-ангидритовой породы*	Параметры крепи, при различных площадях поперечного сечения подготовительных выработок	
	15,6м ²	19,8м ²
I запад, 1,2м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 2,0 м Расстояние между анкерами – 1 м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 2,0 м Расстояние между анкерами – 1 м
I восток, 0,8м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 1,8 м Расстояние между анкерами – 1 м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 1,8 м Расстояние между анкерами – 1 м
II запад, 1,2м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 2,0 м Расстояние между анкерами – 1,1м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 2,0 м Расстояние между анкерами – 1,1м
II восток, 0,8м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 1,8 м Расстояние между анкерами – 1,1м	Диаметр анкеров 48 мм; Длина анкера – 1,8 м Расстояние между анкерами – 1,1м

* - при увеличении мощности галогеновой пачки в I и II типах кровли по западу и востоку более 1,2 м и 0,8 м соответственно рекомендуется к применению анкеры, длиной 2,5-3м., либо добавление к имеющимся анкерам единичных анкеров указанной длины (двухуровневая система крепления).

** - для обеспечения устойчивости горных выработок, пройденных на участках, склонных к вывалообразованию, растрескиванию и интенсивному расслоению рекомендуются комбинированные вида закрепления – сплошное фрикционное + механическое и применение конструкций, позволяющих произвести затяжку межанкерного пространства – армокаркасов, металлической сетки, полосовых подхватов. При применении дополнительных конструкций для затяжки межанкерного пространства возможно увеличить расстояние между анкерами на 0,1 м. (при соответствующем обосновании путем проведения испытаний)

По результатам проверки несущей способности крепи инновационного типа с усовершенствованным принципом закрепления анкеров по всей длине в слоистом массиве горных пород за счет введения в состав крепи вставок с изменяющимися деформационными характеристиками, а также на основе оценки состояния анкеров и горных выработок на опытно-промышленном участке в динамике развития горных работ принимается решение об увеличении сетки анкерования при сохранении стандартной длины анкера до 1,8 м.

Рекомендуемые параметры сетки штангования при использовании анкеров СЗА представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчетное количество анкеров СЗА и КРА при изменении сетки штангования

Плоская кровля- 2,4 м; Закругления- 1,75 м; Периметр закрепления - 5,9						
Количество анкеров в ряду при различных расстояниях и между анкерами, м	По кровле, шт.			По кровле и бортам, шт.		
	Расчетное	Фактическое в ряду	Фактическое на п.м. выработки	Расчетное	Фактическое в ряду	Фактическое на п.м. при квадратной сетке/при ромбовидной
0,8 КРА	4,0	4	5,0	5,1	6	7,5
0,9 КРА	3,7	4	4,44	4,6	6	6,67
1 СЗА	3,4	3	3,0	4,3	5	5,0/4,5
1,1 СЗА	3,2	3	2,73	4,0	5	4,55/4,09
1,2 СЗА	3,0	3	2,50	3,7	4	3,33/2,91

При замене анкеров КРА на анкеры СЗА возможно сократить количество анкеров на 1 п.м. при креплении по кровле с 5 до 3,0 шт./п.м., при креплении по кровле и бортам с 7,5 до 5 шт./п.м. Кроме того, при креплении кровли и бортов выработок по ромбовидной сетке возможно сократить количество анкеров на 1 п.м. с 7,5 (6,67) до 4,5 (4,09) шт./п.м. Потребное количество анкеров СЗА в зависимости от сетки штангования приведено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Потребное количество анкеров СЗА в зависимости от сетки штангования

Пролет выработки, м	5,5							
Высота зоны возможного обрушения, м	0,2	0,6	1	1,2	1,4	1,8	2,2	2,4
Необходимая длина анкеров, м	0,9	1,3	1,7	1,9	2,1	2,5	2,9	3,1
Расчетная нагрузка на 1 п.м., т.	2,2	6,6	11	13,2	15,4	19,8	24,2	26,4
Минимальная расчетная несущая способность замковой части анкера, т	2,765	2,905	3,045	3,115	3,185	3,325	3,465	3,535

Расстояние между рядами, м	Кол-во анкеров в ряду, шт.							
	1	2	3	4	4	5	6	6
0,8	1	2	3	4	4	5	6	6
0,9	1	3	4	4	5	6	7	7
1	1	3	4	5	5	6	7	8
1,1	1	3	4	5	6	7	8	9
1,2	1	3	5	6	6	8	9	9

В результате расчетов получено необходимое количество анкеров в ряду при изменяющейся высоте зоны возможного обрушения (суммарная мощность пластов до устойчивых пород). Так, при высоте зоны возможного обрушения 1,2 метра и длине анкерования 1,9 метров при шаге крепления 1 метр необходимо установить минимум 5 анкеров в ряду.

При применении для затяжки межанкерного пространства металлической сетки, армокаркасов, полосовых подхватов возможно увеличить расстояние между анкерами в ряду и между рядами до 1,2 м. с добавлением анкеров в ряду. Обоснование указанных значений требует проведения дополнительных исследований и опытно-промышленных испытаний.

4.4 Разработка типовых паспортов крепления горных выработок инновационными анкерами фрикционного типа в динамике развития горных работ

Для каждой горной выработки перед ее проходкой должен быть составлен паспорт крепления и управления кровлей.

Паспорт крепления и управления кровлей составляется с учетом назначения, конкретных горно-геологических и горнотехнических условий проходки выработок и срока их службы.

Разработка паспорта крепления и управления кровлей выполняется реализацией последовательных этапов в следующем порядке:

1. Определяются основные исходные геометрические параметры выработки. Основные исходные геометрические параметры выработок принимаются согласно проектной документации.

2. Определяется категория устойчивости горного массива.

3. Производится выбор вида крепи

4. Производится определение параметров

5. Непосредственное построение паспорта крепления и управления кровлей.

Для блоковых выработок (подготовительных и нарезных) графический материал к паспорту крепления должен содержать:

а) схему и порядок подготовки блока (панели) с указанием его размеров, схемы доставки и транспортирования горной массы и проветривания выработок;

б) планы и разрезы блока (панели) с указанием сечения выработок в свету, способов крепления и управления кровлей выработок, сопряжений горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок;

в) виды, конструкции, детали и размеры крепи;

г) суточный график организации очистных работ в блоке.

Пояснительная записка к паспорту крепления и управления кровлей должна содержать:

а) горно-геологическую и горнотехническую характеристику залежи и вмещающих пород;

б) обоснование способов крепления и управления кровлей выработок, вид и конструкцию крепи, средства механизации по установке крепи; расчет потребности крепежных материалов;

в) мероприятия, учитывающие специфические особенности системы разработки.

Графический материал должен включать:

а) поперечный и продольный разрезы выработки, на которых должны быть показаны: сечение выработки в свету, конфигурация и размеры

выработки, расположение залежи руды по отношению к выработке; конструкция, детали и размеры постоянной и временной крепи; отставание крепи от забоя, расположение откаточных путей, сечение водоотливной канавки, габариты основного оборудования;

б) график организации работ по возведению крепи (временной, постоянной) с учетом горнотехнических условий проходки выработок.

Пояснительная записка к паспорту крепления и управления кровлей должна содержать:

а) горно-геологическую и горнотехническую характеристику вмещающих пород;

б) обоснование способов крепления и управления кровлей выработок; вид и конструкцию крепи, средства механизации по установке крепи; расчет потребности крепежных материалов.

Пример разработанного типового паспорта крепления и управления кровлей приведен на рисунке 4.5 и представлен в Приложении 1.

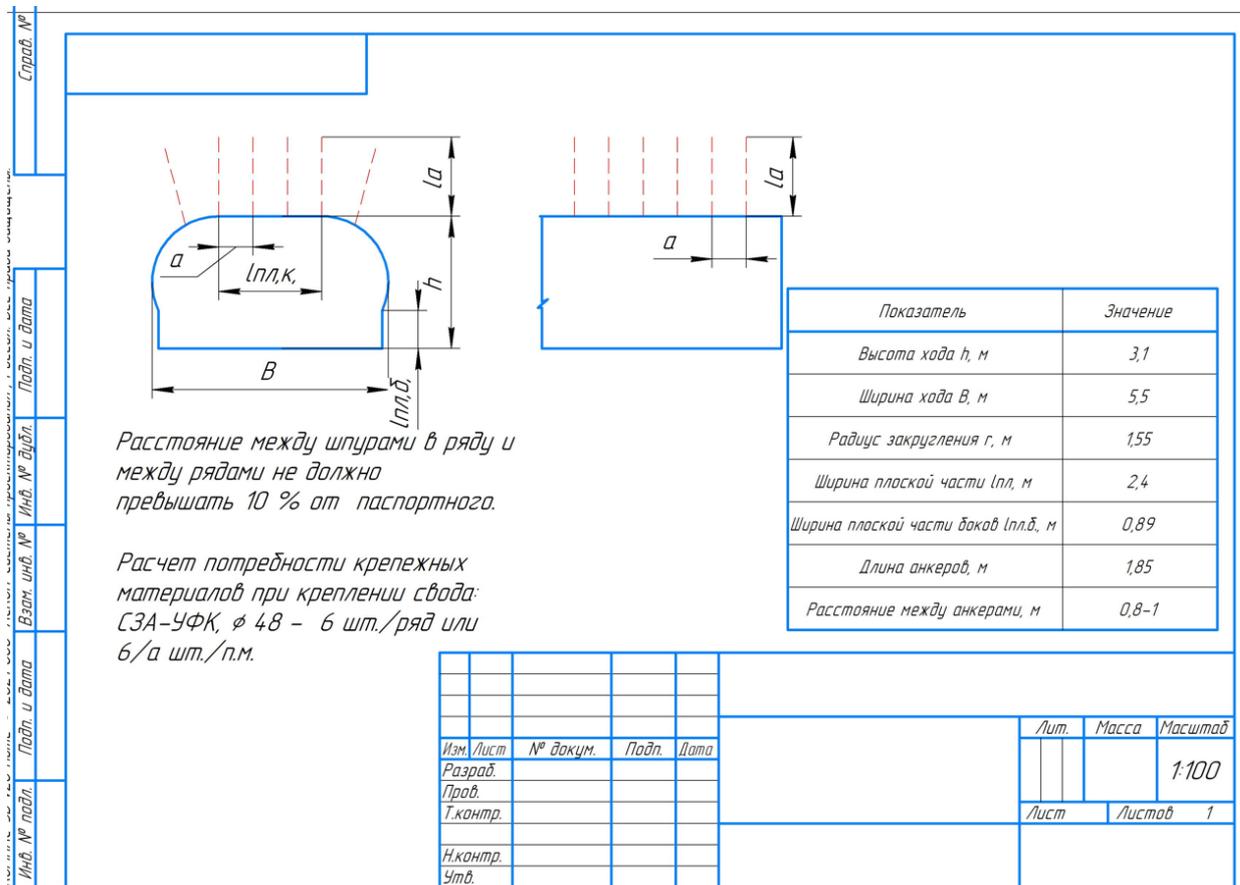


Рисунок 4.5 – Пример типового паспорта крепления и управления кровлей

В Приложении 1 также дали рекомендуемые разработанные по результатам исследований типовые паспорта крепления и управления кровлей подготовительных выработок, пройденных в различных горно-геологических условиях Гремячинского месторождения.

При изменении мощности налегающих пород длину анкеров, их количество в паспорте крепления и управления кровлей необходимо принимать в соответствии с данным, рекомендуемыми в таблице 4.3.

4.5 Технико-экономическая оценка внедрения технологических рекомендаций

В целях повышения эффективности и обеспечения безопасности процессов проходки и крепления горных выработок с учетом установленных горно-геологических особенностей месторождения, анализа сравнительных результатов испытаний разных видов крепления проведена оценка экономической эффективности замены предусмотренной в проекте анкерной крепи КРА на усовершенствованную крепь СЗА с деревянными вставками.

В рамках проведения опытно-промышленных испытаний анкерной крепи СЗА предлагается использовать 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 изменение сетки установки анкеров с увеличением расстояния между рядами анкеров с 0,8 до 1,2 м и снижением их количества в ряду.

Согласно данным рудника, объём проходки и крепления выработок в 2022г. составил 37 467 п.м., в т.ч. по руде - 32 777 п.м. (14 511 м.п. – восточный фланг; 18 266 м.п. – западный фланг), по породе 4 690 м.п. Выработки были закреплены 291 683 анкерами, в т.ч. анкерами КРА – 224 933 шт. (крепление по руде) и анкерами СЗА – 61 173 шт. в том числе 45 953 шт. по руде и 15 220 шт. по породе. Была принята квадратная сетка крепления с расстоянием между

анкерами в ряду и между рядами 0,8 м. Подсчет затрат на крепление СЗА и КРА в расчете на 1 анкер приведен в таблице 4.5.

Согласно бюджету, на 2023 г. предусмотрены затраты: на установку КРА 370000 шт.*2652,38=981,380 млн. руб. и на установку СЗА – 41561 шт.*3145,10= 130,713 млн. руб. Всего 1112,092 млн. рублей.

При сокращении количества анкеров на 50% за счет увеличения расстояния между анкерами в 1,5 раза при росте несущей способности усовершенствованных анкеров до 90 кН, снижение затрат за 2022 год составило 205,4 млн. рублей, а при выходе рудника на полную производственную мощность – 821,6 млн. рублей.

Таблица 4.5 – Расчет затрат на крепление 1 анкера КРА и СЗА, руб.

№ п/п	Виды затрат	Сумма затрат на крепление 1 анкера СЗА	Сумма затрат на крепление 1 анкера КРА
1	Фонд заработной платы	518,67	699,82
2	Социальные отчисления	156,64	211,35
3	Нормируемые материалы (коронки, сталь буровая, анкера)	779,48	683,35
4	Эксплуатационные расходы	1 034,53	730,66
5	Общепроизводственные расходы		
6	Общехозяйственные расходы	655,78	359,23
	Итого:	3145,10	2684,41

**в расчете возможны незначительные отклонения стоимости статей затрат*

При внедрении инновационных крепей в 2023 г. только эффект на установку крепи, без учета роста интенсивности проходки выработок при переходе на усовершенствованную конструкцию анкеров СЗА и сокращении общего числа анкеров в 2,25 раза, сумма годовых эксплуатационных затрат составит $(370000 + 41561)/2,25 * 3145,10 = 575.290$ млн. рублей. Таким образом, сумма дополнительных доходов предприятия в 2023 г. увеличится на 536,802 млн. рублей.

Акты о результатах опытно-промышленных испытаний усовершенствованных конструкций анкеров СЗА на калийном руднике компании ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» представлены в Приложении 2.

Кроме того, или вернее в первую очередь, технология установки КРА, предусматривает нахождение человека в незакрепленном пространстве, в момент установки анкера в шпур. Установка анкера СЗА предусматривает его механизированную подачу, что является, безусловно, существенным преимуществом анкеров СЗА в усовершенствованной конструкции.

Выводы по 4 главе

1. Результаты опытно-промышленных испытаний в неоднородном массиве горных пород инновационных анкеров с введением вставок из дерева, полимера, дерева с полимерным покрытием, металлических вставок в форме эллипсоидов вращения показали высокую несущую способность всех испытанных анкеров – свыше 90 кН.

2. Полученные в ходе испытаний инновационных конструкций усовершенствованной анкерной крепи фрикционного типа с комбинированным принципом укрепления пород по всей длине анкера свидетельствуют о росте несущей способности крепи в динамике развития деформаций в массиве соляных пород.

3. Обоснованы расчетные параметры анкерного крепления: сетка установки анкеров в кровле выработок, доказана возможность и целесообразность увеличения длины анкера, предпочтительность порядной или шахматной схемы установки анкеров с увеличением расстояния с 0,8 до 1,2 м между анкерами в ряду и между рядами, что позволяет сократить общее количество анкеров в 2023 г. в 2,25 раза. В этом случае, даже с учетом удорожания стоимости 1 анкера на 492,72 руб. (на 18,6%), сумма годовой экономии составляет 572,29 млн. руб. в 2023 г.

4. Испытаниями доказано, что недостатками применения крепления анкерами КРА в неоднородном массиве соляных пород являются: недостатки конструкции анкера такого типа, так как он раскрепляется только замковой частью, при этом вся нагрузка при отслаивании руды и породы действует на

прижимную шайбу с гайкой, что вообще не предусмотрено в анкерах этой конструкции; в результате отслоения соляных пород происходит выдергивание крепи и последующее обрушение кровли, либо возникает необходимость ее перекрепления в достаточно сложных и опасных условиях установки КРА. Важно отметить, что возведение анкерной крепи клинораспорного типа предусматривает нахождение человека в незакрепленном пространстве, в момент установки анкера в шпур, а, установка СЗА, предусматривает механизированную установку анкера, что является в плане безопасности, несомненным преимуществом анкеров СЗА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-практическая задача изыскания конструкций анкерной крепи и обоснования параметров технологии обеспечения устойчивости выработок при подземной разработке глубокозалегающих соляных месторождений за счет усовершенствования конструкции самозакрепляющихся анкеров путем включения в них вставок с изменяющимися деформационными характеристиками, что имеет важное значение для развития горнодобывающей промышленности России.

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

1. На основе установления закономерностей геологического строения и нагружения элементов анкерной крепи в слоистом разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих соляных пород усовершенствованы конструкции и обоснованы параметры крепления горных выработок, обеспечивающие повышение надежности эксплуатации и устойчивости горных выработок со снижением риска аварийных ситуаций и травматизма в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях подземной разработки Гремячинского месторождения калийных солей.

2. Анализ состояния горных выработок и крепи, а также перспективных технических разработок по поддержанию выработок в устойчивом состоянии на горнодобывающих предприятиях России и за рубежом показал, что в настоящее время наиболее технически оснащенным и эффективным способом обеспечения устойчивости выработок является анкерное крепление пород с фрикционным типом укрепления приконтурного массива. Разработана и запатентована конструкция самозакрепляющейся анкерной крепи (СЗА) с включением вставок с изменяющимися деформационными характеристиками, успешно прошедшая опытно-промышленные испытания в шахтных условиях Гремячинского ГОКа.

3. Обобщение применяемых видов анкерной крепи показало, что основное отличие усовершенствованных анкеров состоит в месте и способе их закрепления: в призабойной части шпура или скважины (точечное закрепление) с помощью различных усиленных механических замков, либо по всей длине стержня анкера, что предусмотрено в конструкции самозакрепляющихся анкеров (СЗА). Преимуществом СЗА является набор несущей способности непосредственно после установки: закрепление по всей длине шпура, возможность полной механизации технологических процессов, рост несущей способности усовершенствованной анкерной крепи в процессе эксплуатации не менее чем в 1.8 раза.

4. Для обеспечения устойчивости выработок, пройденных в массиве соляных пород, необходима разработка принципиально новых конструкций усовершенствованной фрикционной анкерной крепи, которые сочетают в себе свойства самозакрепляющихся и клинораспорных анкеров и учитывают слоистость пород кровли и стенок выработки, угол наклона и мощность включений соляных пород.

5. Доказано, что выбор вида, конструкции и параметров анкерного крепления, обеспечивающих устойчивость глубокозалегающих подземных горных выработок в слоистом, разнопрочном, разномодульном массиве соляных 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 комплектующих элементов по длине анкера. Доказано экспериментально, что обеспечение устойчивости выработок при разработке глубокозалегающих соляных месторождений, пройденных по ангидритам и ангидрит-доломитовым породам с применением крепей клинораспорного и самозакрепляющегося типа, обеспечивает несущую способность свыше 80 кН.

6. Для крепления выработок в соляных породах разработаны и апробированы усовершенствованные виды анкерных крепей на основе СЗА с

применением деревянных, полимерных и усиленных металлических вставок, сочетающие клинораспорный и самозакрепляющийся принцип закрепления в массиве горных пород. Экспериментально доказано, что несущая способность всех указанных типов усовершенствованных анкеров превышает 50 кН.

7. Установлено, что механизм обеспечения устойчивости горных выработок при слоистости массива разнопрочных и разномодульных пород кровли заключается в перераспределении нагрузок между элементами анкерной крепи с учетом повышения усилий закрепления анкера в замке в более прочных и жестких породах и увеличения сил трения в горизонтальном сечении более мягких соляных породах при нагружении.

8. Обоснован алгоритм выбора типа, конструкции анкеров и параметров крепления горных выработок на глубокозалегающих месторождениях калийных солей, отличающийся учетом условий залегания пласта сильвинита (морфологии, мощности и места флексурных осложнений, угла падения), механических характеристик неоднородных разнопрочных и разномодульных пород кровли. На основе алгоритма обосновываются параметры паспорта крепления выработок в слоистом разнопрочном и разномодульном массиве вмещающих пород с учетом установленных тенденций изменения несущей способности усовершенствованного анкера.

9. Испытаниями доказано, что преимуществом использования усовершенствованной и запатентованной конструкции анкеров в массиве соляных пород с позиции промышленной безопасности и снижения риска травматизма персонала является: механизированная установка СЗА и расклинивание его по всей длине и рост несущей способности в ходе эксплуатации по данным промышленного эксперимента не менее чем на 80%.

10. Обоснованы расчетные параметры анкерного крепления, доказана возможность и целесообразность увеличения длины анкера, предпочтительность порядной или шахматной схемы установки анкеров с увеличением расстояния с 0,8 до 1,2 м между анкерами в ряду и между рядами, что позволило сократить общее количество анкеров в 2023 г. в 2,25 раза. В

этом случае, даже с учетом удорожания стоимости 1 анкера на 492,72 руб. (на 18,6%), расчетная годовая экономия составила 572,29 млн. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krupnik, L.A. Argument for a rational technology of filling operations at the Sekisovskoye deposit / L.A. Krupnik, Yu.N. Shaposhnik, V.F. Demin et al. // Physical and technical problems of mining. – 2015. – № 3. – Pp. 72-81.
2. Li, X.B. Failure mechanism and coupled static-dynamic loading theory in deep hard rock mining / X.B. Li, F.Q. Gong, M. Tao, L. Dong, K. Du et. al. // J. of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2017(9). – Pp. 767-782.
3. Wittenberg, D. Anwendung der Ul-traschallmesstechnik an eingebauten Ge-birgsankern / D. Wittenberg // Sonderdruck aus Glueckauf. – 2001. – Pp. 320–324.
4. Алиев, С.Б. Расчет параметров анкерного крепления при проведении горных выработок в условиях угольных шахт / С.Б. Алиев, В.Ф. Дёмин, А.Н.Томилов, Н.А. Милетенко // Уголь. – 2021. – № 4. – С. 15-19.
5. Ануфриев, В.Е. Опыт применения канатных анкеров в качестве крепи усиления демонтажных камер и выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством, и методика расчета их параметров / В.Е. Ануфриев, М.Г. Лупий, С.И. Калинин и др. – Кемерово: Изд-во ИУУ СО РАН, 2008. – 220 с.
6. Асанов, В.А. Геомеханическая оценка устойчивости несущих элементов камерной системы разработки соляных пород: рефер. докт. дис. / В.А. Асанов. – Пермь, 2004. – 35 с.
7. Блохин, С.Л. Обоснование эффективных схем многогоризонтной отработки калийных руд Старобинского месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Л. Блохин. – СПб.: ГГИ, 2005. – 22 с.
8. Бондарев, К.А. Разработка технологических схем выемки IV калийного пласта в условиях многогоризонтной отработки Старобинского месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.А. Бондарев. – СПб.: ГГИ, 2009. – 21 с.

9. Булычев, Н. С. О критериях устойчивости окружающих выработки пород / Н.С. Булычев // Устойчивость и крепление горных выработок: сб. науки. тр. ЛГИ. – 1976.

10. Васильев, С.Д. Обоснование и разработка методики расчета крепления сталеполлимерной анкерной крепью горных выработок для условий многолетней мерзлоты: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Д. Васильев. М.: МГОУ, 2013. – 24 с.

11. Виноградов, Ю.А. Разработка программного обеспечения для повышения эффективности поддержания выработок в сложных гидрогеологических условиях / Ю.А. Виноградов, А.А. Хорольский // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 4. – С. 5-11.

12. Войтов, М.Д. Исследование деформационных и нагрузочных свойств анкерной крепи / М.Д. Войтов, И.И. Харитонов, В.В. Емельянов // Вестник КузГТУ. – 2011. – № 3. – С. 50-54.

13. Временное руководство по разработке угольных месторождений сейсмоопасных районах о. Сахалин / под ред. В.Г. Кузнецова. – Прокопьевск: КузНИУИ, 1979. – 78 с.

14. 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. 279-293.

15. ГОСТ 31559-2012. Крепи анкерные. Общие технические условия. М.: Стандарт-информ, 2013. – 16 с.

16. ГОСТ Р 52042-2003. Крепи анкерные. Общие технические условия, 2003. – 12 с.

17. Гречишкин, П.В. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления: перспективы применения при отработке рудных месторождений полезных ископаемых в различных горно-геологических условиях / П.В. Гречишкин, Е.А. Разумов, Д.Ф. Зяятдинов, С.С. Чугайнов //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 10. – С. 182-200.

18. Губанов, В.А. Обоснование геомеханических параметров охраны и поддержания подготовительных и очистных выработок при разработке калийных месторождений: автореф. дис. ... докт. техн наук / В.А. Губанов // Московский государственный открытый университет, 2006. – 36 с.

19. Губин, В.В. Анкерная крепь / В.В. Губин // Известия Томского политехнического института. – 1958. – Т. 9. – С. 131-141.

20. Давыдов, В.В. Закрепление штанг анкерной крепи с помощью растворов смол. / В.В. Давыдов, В.А. Шемякин, Ю.В. Тябин // Шахтное строительство. – 1971. – № 8. – С. 22-24.

21. Ерофеев, Л. М. Определение условий работы крепей капитальных и горизонтальных горных выработок и разработка основных принципов их проектирования / Л.М. Ерофеев // Горное давление в капитальных и подготовительных выработках. – Новосибирск: СО АН СССР, 1975.

22. Ерофеев, Л.М. Инструкция по проектированию крепей капитальных горных выработок для условий угольных шахт Кузбасса / Л.М. Ерофеев. – Кемерово: Кузниишахтострой, 1978.

23. Ерофеев, Л.М. Проектирование крепей капитальных горных выработок / Л.М. Ерофеев // Шахтное строительство. – № 2, 1978.

24. Ефимов, В.И. Результаты испытания железобетонных анкеров // Сб. Вопросы безопасности при разработке угольных месторождений Кузбасса. – 1991. – № 4.

25. Завьялов, Р.Ю. Теория и методы расчета анкерной крепи протяженных выработок / Р.Ю. Завьялов. – Тула: ТулГУ, 2000. – 162 с.

26. Задавин, Г.Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна: автореф. дис. ... канд. наук / Г.Д. Задавин. – Караганда: КГТУ, 2008. – 23 с.

27. Заключение №47 от 04.11.2016 г. по оценке склонности Гремячинского месторождения ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» к горным ударам: Проектная документация. Приложение М. – Том 1.7. – 160505-П-00-ПЗ7. – 2016.

28. Закономерности геодинамических явлений при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений калийно-магниевых солей / М.В. Рыльникова, Е.Н. Есина, Е.М. Сахаров, Р.В. Бергер // Горная промышленность. – 2023. – № 1. – С. 111-115.

29. Заславский, Ю.З. Новые виды крепи горных выработок / Ю.З. Заславский, В.М. Мостков. – М.: Недра, 1989.

30. Заславский, Ю.З. Крепление подземных сооружений / Ю.З. Заславский, В.М. Мостков. – М.: Недра, 1979.

31. Захарова, Т.Г. Анализ методов расчета параметров крепи сопряжений горных выработок / Т.Г. Захарова // ГИАБ. – 2005. – № 11. – С. 137-140.

32. Зубков, А.А. Интенсификация горных работ и снижение рисков эксплуатации рудного месторождения системами разработки с твердеющей закладкой при переходе к новому технологическому укладу: дис. ... докт. техн. наук / А.А. Зубков. – М.: МГГУ, 2022. – 360 с.

33. Зубов, В.П. Применяемые технологии и актуальные проблемы ресурсосбережения при подземной разработке пластовых месторождений полезных ископаемых / В.П. Зубов // Горный журнал. – 2018. – № 6. – С. 77-83.

34. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. – СПб.: ВНИМИ, 2000. – 70 с.

35. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.2013 г. № 610. – 168 с.

36. Кайназаров, А.С. Развитие деформаций в почве при установке припочвенной анкерной крепи / А.С. Кайназаров, А.С. Кайназарова, А.Ш.

Калмаганбетова и др. // Промышленность Казахстана. – 2019. – № 2 (106). – С. 74-77.

37. Карабань, Д.Т. Результаты испытаний анкерной крепи повышенной несущей способности в выработках солигорских калийных рудников / Д.Т. Карабань, Е.А. Лутович, С.А. Северинчик, В.А. Губанов, И.И. Харитонов // Научные исследования и инновации. – 2011. – Т. 5. – № 1. – С. 129-131.

38. Картозия, Б.А. Теоретические основы крепления горных выработок крепью регулируемого сопротивления / Б.А. Картозия, В.А. Пшеничный // Специальные способы строительства подземных сооружений и шахт. – М.: МГИ. – 1984.

39. Классификация технологий закладки для условий подземной разработки соляных месторождений / М.В. Рыльникова, Р.В. Бергер, И.В. Яковлев, Е.М. Сахаров // Горная промышленность. – 2024. – № 5S. – С. 44-50.

40. Ксендзенко, Л.С. Зональное разрушение массива горных пород вокруг подземных выработок (обзор) / Л.С. Ксендзенко, В.В. Макаров // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2017. – № 4(33). – С. 118-130.

41. Кузнецов, Г.Н. Оценка степени трещиноватости пород на их устойчивость в горных выработках методом моделирования / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько. – Л.: ВНИМИ, 1964.

42. Кулешов, Е.С. Эффективное воспроизводство ресурса работоспособности анкерной крепи при поддержании горных выработок угольных шахт: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.С. Кулешов. – М.: МГГУ, 2006. – 18 с.

43. Курганский, Е.В. Факторы, определяющие несущую способность клинощелевых штанг: сб. Проектирование и строительство угольных предприятий / Е.В. Курганский, И.А. Юрченко. – М.: Недра, 1965. – №3. – С. 26-29.

44. Кычкин, Н.Л. Особенности работы и рациональные параметры армополимерной анкерной крепи в многолетнемерзлых горных породах: автореф. дис. канд. техн. наук / Н.Л. Кычкин. – М.: МГГА. – 1998. – 27 с.

45. Луганцев, Б.Б. Обеспечение устойчивости подземных горных выработок в трещиноватом породном массиве: реф. докт. дис. / Б.Б. Луганцев. – М.: МГГУ. – 2001. – 32 с.

46. Лысенко, М.В. Канатный анкер АК 01: крепление подвесной монорельсовой дороги / М.В. Лысенко, А.В. Самок, Г.В. Райко, П.В. Гречишкин // Уголь. – 2011. – № 6. – С. 47-49.

47. Масаев, Ю.А. Совершенствование конструкций анкерных крепей для сооружения горных выработок / Ю.А. Масаев, А.П. Политов, А.И. Копытов, В.Ю. Масаев // Вестник НЦ ВостНИИ. – 2018. – № 4. – С. 66-73.

48. Мельников, Н. И. Анкерная крепь / Н. И. Мельников. – М.: Недра, 1980.

49. Метод расчета параметров анкерной крепи глубокого заложения для поддержания горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт / А.С. Позолотин, М.А. Розенбаум, А.А. Ренеи и др. // Уголь. – 2013. – № 4. – С. 32-34. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042013.pdf#3> (дата обращения: 15.03.2021).

50. Методики расчета времени весьма устойчивого состояния горных выработок в условиях строящегося рудника Усольского калийного комбината: временная инструкция ОАО «Галургия»/ рук. С.А. Константинова. – Пермь, 2009. – 50 с.

51. Морозов, И.А. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах / И.А. Морозов, И.Л. Паньков, В.Н. Токсаров // ГИАБ. – 2021. – №9. – С.36-47.

52. Мюллер, Л. Инженерная геология. Механика скальных массивов / Л. Мюллер. – М.: Мир, 1971.

53. Нгуен, Виет Динь. Определение величины зоны разрушения и оптимальной длины анкеров вокруг горных выработок численным методом / Виет Динь Нгуен, Г.С. Франкевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №3. – С.51-55.

54. Нгует, Виен Динь. Обоснование параметров анкерных крепей капитальных горных выработок с учетом их взаимодействия с массивом во времени: дис. ... канд. техн. наук / Виен Динь Нгует. – М.: МИСиС, 2016. – 133 с.

55. Николаенко, Н.Н. Взаимодействие породного массива с анкерной крепью различных конструкций / Н.Н. Николаенко, М.А. Байкенжин // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1984. – № 8.

56. Обоснование структуры и параметров логистической схемы подземного рудника при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей системами с закладкой выработанного пространства / М. В. Рыльникова, И. В. Яковлев, Е. М. Сахаров, Р. В. Бергер // Горная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 134-139.

57. Патент USA. Method of testing the integrity of installed rock bolts. № 4062229 МКИ2 G01N 29/00, опубл. 13.12.1977 / David E. Godfrey, Norman R. Kuchar.

58. Патент РФ. № RU 2 487 243 С2 МПК E21D20/02. Способ неразрушающего контроля анкерной железобетонной крепи: заявл. 31.05.2011: опубл. 10.07.2013, Бюл. № 34 / Д. Ю. Рябухин, М.В. Корнилков, В. Е. Петряев, В.Е. Боликов.

59. Патент РФ. № RU 220 177 U1. Анкер с фрикционным закреплением: № 2023104574: заявл. 27.02.2023: опубл. 30.08.2023 / А. А. Зубков, Ар. А. Зубков, Е. М. Сахаров [и др.].

60. Перспективы совершенствования способов крепления горных выработок в соляных породах разной прочности / М.В. Рыльникова, Е.М. Сахаров, Е.Н. Есина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 3. – С. 268-279.

61. Позолотин, А.С. Упрочнение канатными анкерами пород кровли выработок, сохраняемых на границе с выработанным пространством, на пологопадающих пластах: дис. ... канд. техн. наук / А.С. Позолотин. – Кемерово: КузГТУ, 2005. – 127 с.

62. Поляков, А.Л. Исследование устойчивости кровли при слоевой выемке калийного пласта: на примере третьего пласта Старобинского месторождения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Л. Поляков. – М.: МГОУ, 2004. – 19 с.

63. Правила безопасности в угольных шахтах: приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550: [зарегистрирован Минюстом России 31.12. 2013 г., рег. № 30961].

64. Протодяконов, М.М. Методы исследования механических свойств горных пород в условиях объемного напряженного состояния / М.М. Протодяконов и др. – М.: АН СССР, 1963 г.

65. Разумов, Е.А. Канатный анкер АК01: предварительно пройденные демонтажные камеры / Е.А. Разумов, Ф.А. Анисимов, Г.В. Райко, П.В. Гречишкин // Уголь. – 2011. – № 7. – С. 20-23.

66. Райко, Г. В. Бесфундаментный монтаж станций конвейеров в подземных горных выработках с применением анкерной крепи / Г.В. Райко, П.В. Гречишкин // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – № 4. – С. 26-27.

67. Рекомендации по усилению крепи горных выработок анкерами в зонах воздействия динамических нагрузок. – Прокопьевск. –1975. – 43с.

68. Самок, А.В. Канатный анкер АК 01: широкие выработки и их сопряжения / А.В. Самок, Г.В. Райко, П.В. Гречишкин // Уголь. – 2011. – № 5. – С. 80-82.

69. Самок, А.В. Канатный анкер АК01: усиление крепи штреков для работы очистного забоя без механизированной крепи сопряжения / А.В. Самок, Г.В. Райко, А.С. Позолотин, П.В. Гречишкин // Уголь. – 2011. – № 10. – С. 9-11.

70. Сахаров, Е.М. Комплексная цифровизация, реализуемая при освоении запасов Гремячинского месторождения калийно-магниевых солей / Е.М. Сахаров, Р.В. Бергер, М.В. Рыльникова // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 69-73.

71. 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 // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых: сборник XII научно-практической конференции. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2023. – С. 111-113.

72. Сахаров, Е.М. Условия обеспечения безопасности горных работ при подземной разработке соляных месторождений / Е.М. Сахаров, Р.В. Бергер, Е. Н. Есина // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сборник международной научно-практической конференции / под ред. И. Е. Павловой. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2022. – С. 58-60.

73. Семеновский, В.Н. Штанговая крепь/ В.Н. Семеновский // Горный журнал. – 1953. – № 6.

74. Сравнительная геомеханическая оценка применения различных вариантов систем разработки в условиях Гремячинского месторождения калийных солей. – М.: ИПКОН РАН, 2015.

75. Терещук, Р.Н. Состояние и перспективы применения анкерной крепи / Р.Н. Терещук // Научный вестник. – 2000. – №2. – С.6-9.

76. Технический проект отработки Гремячинского месторождения подземным шахтным способом. – Пермь: ОАО «Галургия», 2015.

77. Технический проект отработки Гремячинского месторождения подземным шахтным способом. Раздел 2. Геологическое строение шахтного поля. 71.002-ГГ. – Пермь: ОАО «Галургия», 2015. – 188 с.

78. Тимофеев, О.В. Методика расчета параметров штанговой крепи при упругопластическом деформировании массива пород / О.В. Тимофеев // Устойчивость и крепление горных выработок: межвузовский сборник. – Выпуск 3. – Ленинград: Горный институт им. Г.В. Плеханова, 1976. – С.30-34.

79. Томилов, А.Н. Обоснование параметров проведения горных выработок с использованием технологии анкерного крепления: дис. ... докт. филос. наук / А.Н. Томилов. – 2020. – 198 с.

URL:https://www.kstu.kz/wpcontent/uploads/2020/11/Dissertatsiya_Tomilov

(Дата обращения: 15.03.2021).

80. Тэнсэпэн, Э. Совет по применению штанговой крепью / Э. Тэнсэпэн. – Донецк, 1975 г.

81. Утиралов, О.А. Обоснование параметров технологии поэтапного проведения и анкерного крепления пластовых подготовительных выработок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.А. Утиралов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 19 с.

82. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах. – Сер. 05. – Вып. 42. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. – 186 с.

83. Фисенко, Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976 г.

84. Франкевич, Г.С. Обоснование параметров в разработка крепей капитальных горных выработок с управляемой несущей способностью: дис. ... докт. техн. наук / Г.С. Франкевич. – М.: МГГУ, 1998 г.

85. Фрянов, В.Н. Методика оценки соответствия результатов численного моделирования и шахтных измерений геомеханических параметров массива горных пород в окрестности сопряжений горных выработок / В.В. Басов, В.Н. Фрянов // Материалы инновационного конвента «Кузбасс: образование, наука, инновации». – 2019. – С. 12-18.

86. Халикова, Э.Р. Создание эффективной технологии проведения выработок на базе аналитического моделирования геомеханических процессов: дис. ... докт. филос. наук / Э.Р. Халикова. – Караганда, 2020. – 110 с.

87. Цибаев, С.С. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, подвергшихся воздействию негативных техногенных факторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.С. Цибаев. – Кемерово: КузГТУ, 2020. – 22 с.

88. Чавкин, А.И. Обоснование технологических решений по сохранению несущей способности анкерной крепи подготовительных выработок в период эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.И. Чавкин. – М.: МГГУ, 2008. – 23 с.

89. Чанышев, А.И. Об одной интерпретации зональной дезинтеграции массива горных пород вокруг подземных выработок / А.И. Чанышев, О.Е. Белоусова // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. – № 1. – С. 89-99.

90. Штефан, П. Опыт применения анкерной крепи / П. Штефан // Глюкауф: междунар. журн. по горной промышленности, минерально-сырьевым ресурсам, энергетике. – 1987. – № 9.

91. Штефан, П. Поведение анкеров в слоистых породах и вытекающие из этого требования / П. Штефан // Глюкауф: междунар. журн. по горной промышленности, минерально-сырьевым ресурсам, энергетике. – 1985. – № 8.

92. Янак, А.Ф. Геомеханическое обоснование технологии анкерного крепления подготовительных выработок при интенсивной отработке запасов угля: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Ф. Янак. М.: МГГУ, 2006. – 23 с.

Приложение 1. Типовые паспорта крепления и управления кровлей подготовительных выработок для различных горно-геологических условий Гремячинского месторождения

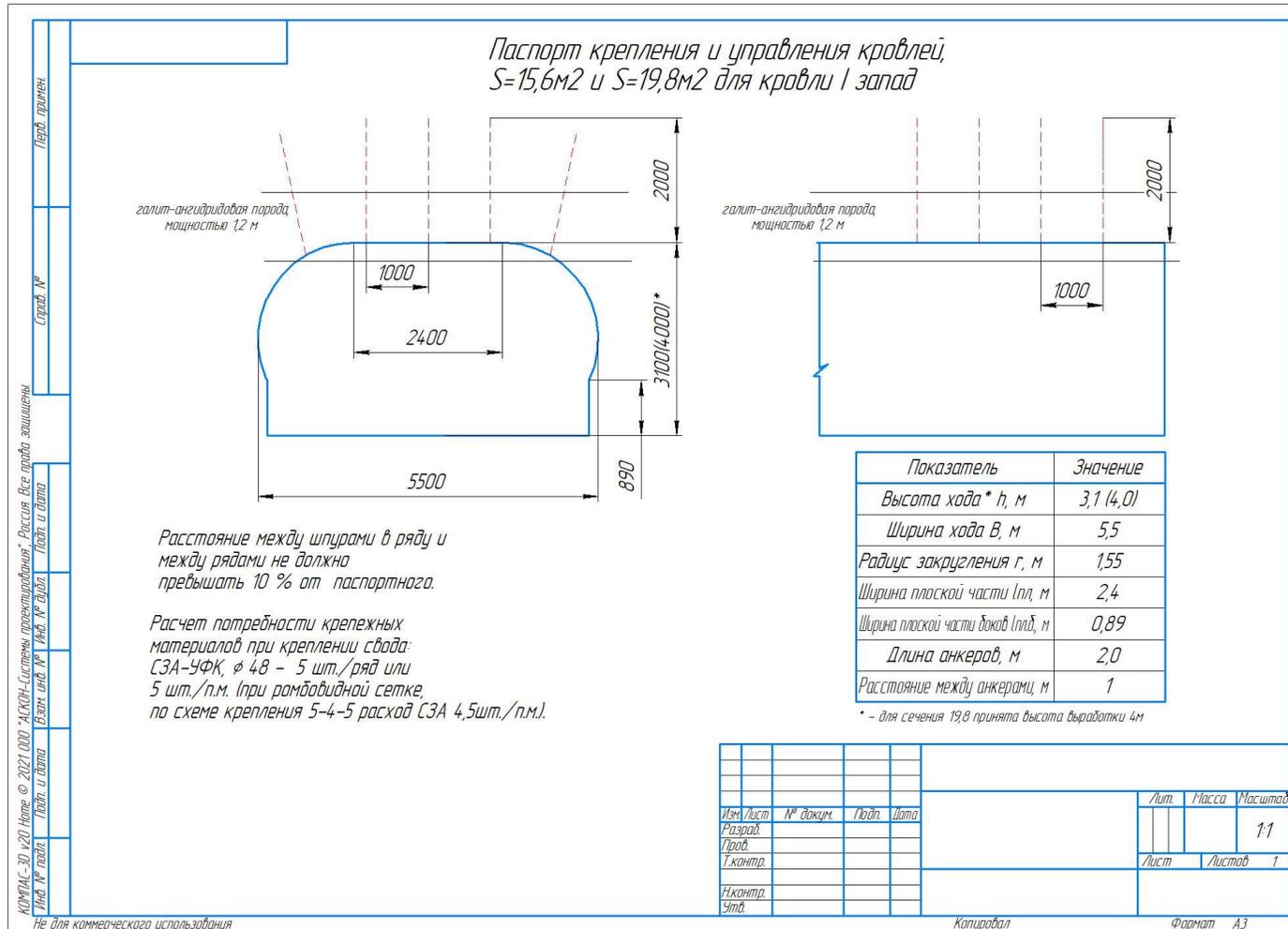


Рисунок 1.1 – Паспорт крепления и управления кровлей, S=15,6м² и S=19,8м² для кровли I запад

**Паспорт крепления и управления кровлей,
S=15,6м² и S=19,8м² для кровли I восток**

галит-ангидридовая порода, мощность 0,8 м

галит-ангидридовая порода, мощность 0,8 м

Расстояние между шурупами в ряду и между рядами не должно превышать 10 % от паспортного.

Расчет потребности крепежных материалов при креплении свода:
СЗА-УФК, ϕ 48 – 5 шт./ряд или 5 шт./п.м. (при ромбовидной сетке, по схеме крепления 5-4-5 расход СЗА 4,5шт./п.м.).

Показатель	Значение
Высота хода * h, м	3,1 (4,0)
Ширина хода B, м	5,5
Радиус закругления r, м	1,55
Ширина плоской части lпл, м	2,4
Ширина плоской части боков lп.б, м	0,89
Длина анкеров, м	1,8
Расстояние между анкерами, м	1

* - для сечения 19,8 принята высота выработки 4м

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.							1:50
Проб.					Лист	Листов	1
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							

Не для коммерческого использования

Копировал _____ Формат А3

КОМПАС-3D v20 Home © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены. Имя, № лист, № док-м., № табл. и дата

Имя, № лист, № док-м., № табл. и дата

Рисунок 1.2 – Паспорт крепления и управления кровлей, $S=15,6\text{м}^2$ и $S=19,8\text{м}^2$ для кровли I восток

Продолжение Приложения 1

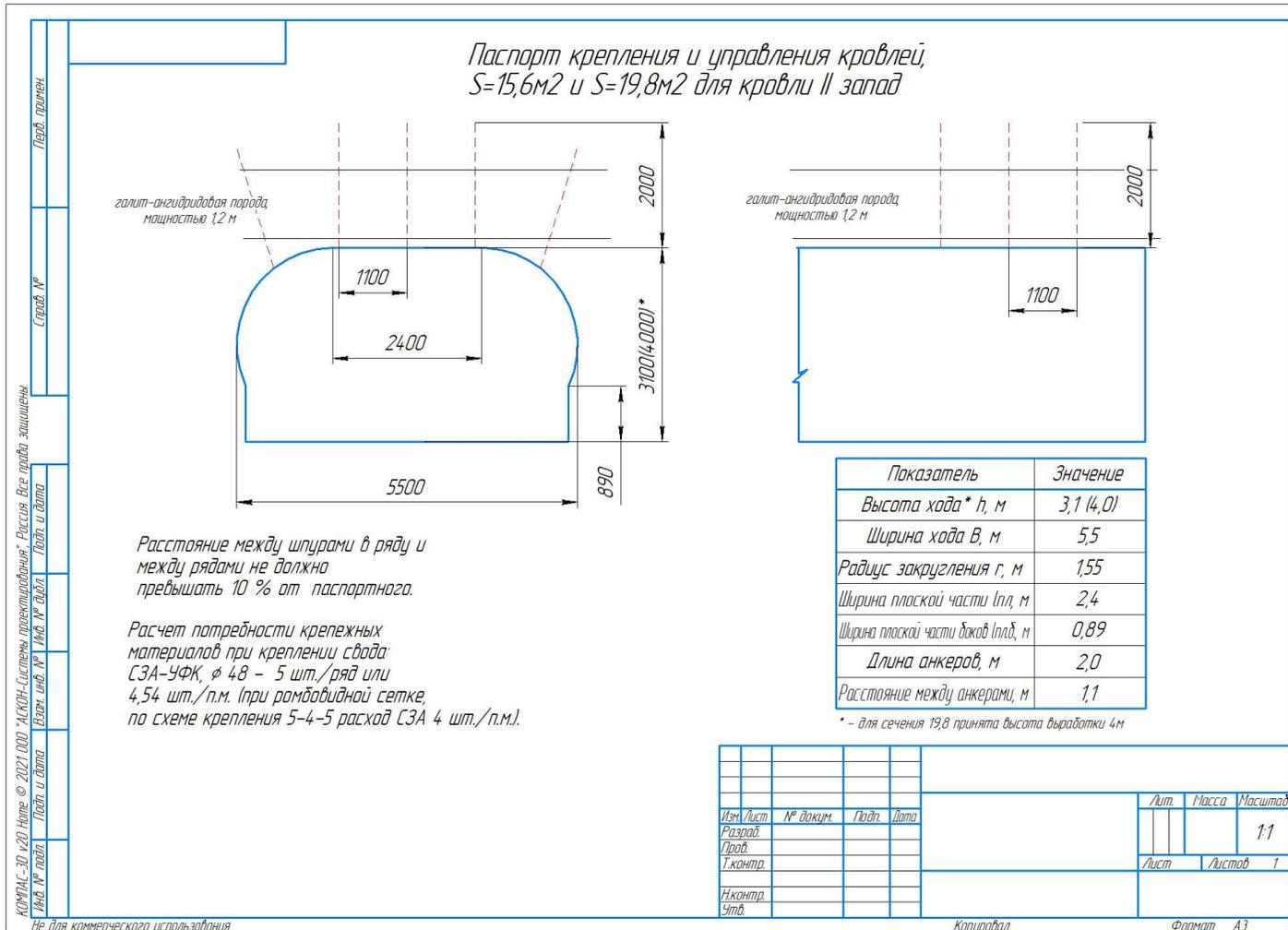


Рисунок 1.3 – Паспорт крепления и управления кровлей, $S=15,6\text{м}^2$ и $S=19,8\text{м}^2$ для кровли II запад

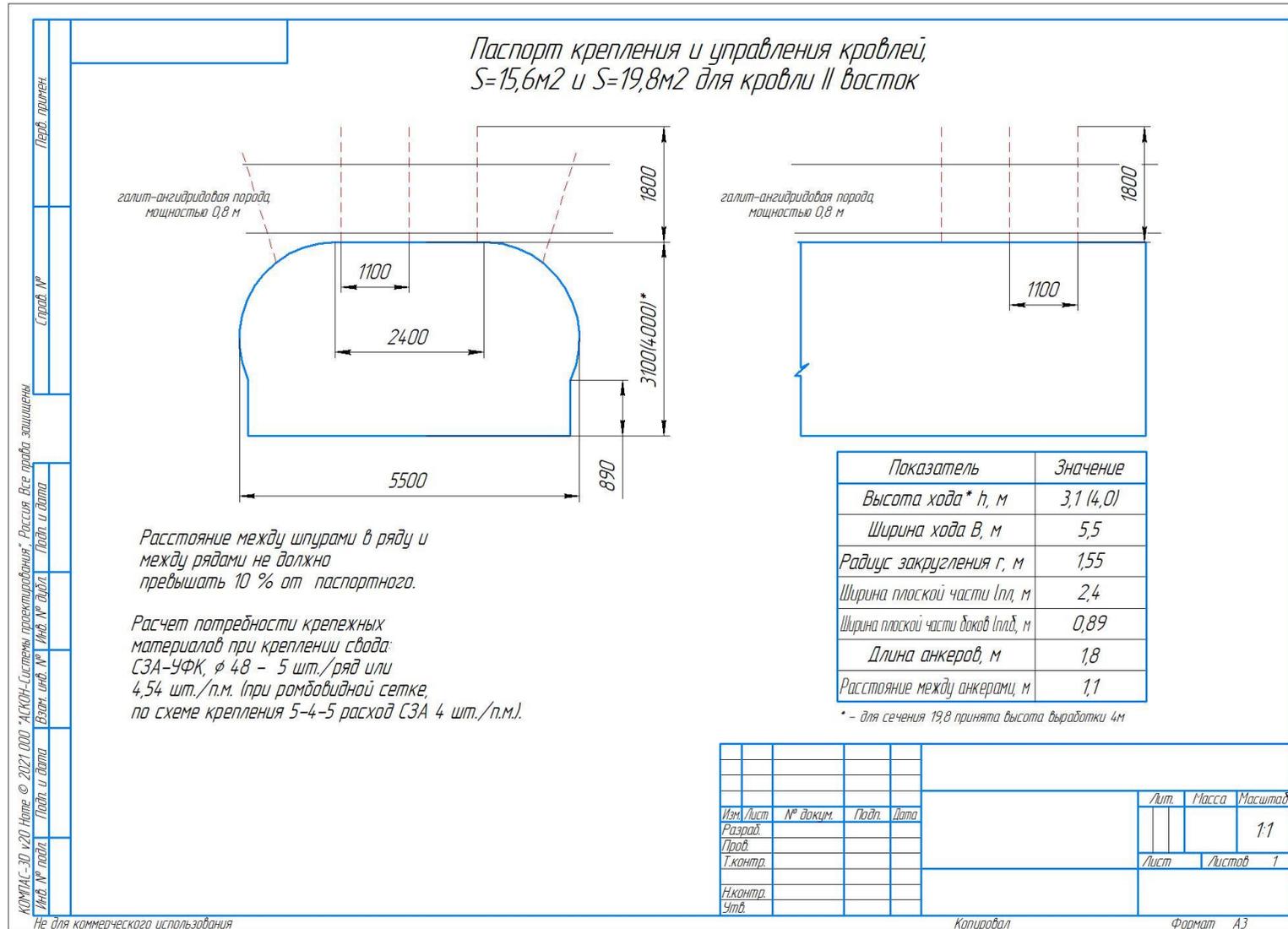


Рисунок 1.4 – Паспорт крепления и управления кровлей, S=15,6м² и S=19,8м² для кровли II восток

**Приложение 2. Акт по результатам опытно-промышленных испытаний
модифицированных конструкций анкерной крепи СЗА производства ООО
«УралЭнергоРесурс»**



УТВЕРЖДАЮ:

Директор по производству
ООО «ЕвроХим- ВолгаКалий»
Бергер Р.В.

«14» апреля 2023 г.

АКТ

**по результатам опытно-промышленных испытаний
модифицированных конструкций анкерной крепи СЗА, производства
ООО «УралЭнергоРесурс»**

Настоящий акт составлен комиссией, утвержденной приказом Директора по производству ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»:

Председатель комиссии:

- Начальник производственного отдела Ляпин А.Н.;

Члены комиссии:

- представитель от ИПКОН РАН Кирков А.Е.;

- представитель от ИПКОН РАН Табагуа М.А.;

- представитель от ООО «УралЭнергоРесурс» Неугомонов С.С.;

- представитель от ООО «УралЭнергоРесурс» Уелданов Б.Г.;

по результатам проведения опытно-промышленных испытаний, на основании Программы-методики экспериментальных испытаний эксплуатационных характеристик и несущей способности усовершенствованной конструкции самозакрепляющейся анкерной крепи (СЗА), подтверждаем, что в период с 12.04.2023 г по 14.04.2023 г. в горных выработках на участке 12 блока 2 восточной панели в районе смыкания сбоек №3 и №4 были проведены опытно-промышленные испытания.

В соответствии с Программой-методикой, утвержденной Директором по производству ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» Бергером Р.В., разработанной Техническим директором ООО «УралЭнергоРесурс» Неугомоновым С.С., были проведены испытания эксплуатационных характеристик и фактической несущей способности усовершенствованной конструкции анкерной крепи СЗА, производства ООО «УралЭнергоРесурс».

Для испытаний предоставленных ООО «УралЭнергоРесурс» анкеров, было установлено 4 различных конструктивных типа СЗА по 6 каждого типа, итого 24 анкера:

1. СЗА с усиленным фрикционным контактом (анкер в анкере) – СЗА-УФК;
2. СЗА с усиливающей деревянной вставкой – СЗА-Д;
3. СЗА с усиливающей пластиковой вставкой (трубка ПВХ) – СЗА-ПВХ;
4. СЗА с усиливающей вставкой тип «пружина» - СЗА-П.

Испытания проведены в выработках со следующими горными породами:

- галит-ангидритовая порода светло-серая, тонко-скрытозернистая, слоистая и вкрапленная (слоистая и вкрапленная текстуры обусловлены распределением соли каменной в виде линз и включений). Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 50,2$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют;
- соль каменная от светло-серой до серой, участками со слабым коричневатым оттенком, слоистая, разнокристаллическая, 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;
- зона замещения сильвинитового пласта каменной солью от серого до темно серого, полосчатая, разнокристаллическая. Порода характеризуется пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж} \sim 37$ МПа. Трещины в горной породе отсутствуют.

Результаты испытаний и замеров представлены в журнале табл. 1 (Приложение 1 к Акту).

Сравнение результатов выполненных испытаний свидетельствуют о работоспособности предложенных усовершенствованных конструкций анкеров, разработанных на базе анкеров типа СЗА как для соляных массивов, так и для ангидрид-доломитовых и доломитовых пород.

Рекомендуется использовать результаты проведенных испытаний (Приложение 1) для расчета паспорта крепления для испытанных типов анкеров с последующим закреплением опытных участков и инструментальными наблюдениями за смещением контура выработок на закреплённых участках для оценки эффективности и работоспособности анкерной крепи разработанного типа.

Члены комиссии:

Председатель комиссии

 _____ Ляпин А.Н.

Представитель от ИПКОН РАН

 _____ Кирков А.В.

Представитель от «УралЭнергоРесурс»

 _____ Неугомонов С.С.

Приложение 1

Таблица 1. Результаты экспериментального определения эксплуатационных характеристик самозакрепляющихся анкеров усовершенствованной конструкции в условиях ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий» в соляных породах

№ п/п	Типоразмер крепи, ее комплектность	Место установки	Геометрические размеры анкерной крепи и ее элементов,			Величина нагрузки, т (сред.по всем)
			длина стержня	диаметр стержня	длина усиливающей	
1	СЗА-УФК, с опорной плитой	12 блок 2 восточной панели	1850	48	300	6÷7
2	СЗА-Д, с опорной плитой		1850	48	300	более 9
3	СЗА-ПВХ, с опорной плитой		1850	48	300	8÷9
4	СЗА-П, с опорной плитой		1850	48	300	более 9