

*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

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на кафедре разработки месторождений полезных ископаемых

**Научный руководитель:**

Рыльникова Марина Владимировна – доктор технических наук, профессор.

**Официальные оппоненты:**

Кузьмин Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, эксперт отдела технической политики и НИОКР ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» ГК Росатом, г Москва.

Харисов Тимур Фаритович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений ФБГУП «Института горного дела УрО РАН», г. Екатеринбург.

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (ФГБОУ ВО ТулГУ), г. Тула

Защита диссертации состоится «17» января 2025 г. в «13» час 00 мин на заседании диссертационного совета 24.2.324.06 на базе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, в зале видеоконференцсвязи (ауд.233).

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

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета доктор технических наук



С.Н. Корнилов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Увеличение глубины разработки месторождений полезных ископаемых, вовлечение в эксплуатацию запасов, находящихся в сложных горно-геологических условиях, зачастую, обуславливают проявление опасных гео- и газодинамических явлений, приводящих к большому экономическому, экологическому и социальному ущербу. Вовлечение в отработку участков со сложной морфологией, флексурными изменениями, низкими прочностными и деформационными характеристиками соляных пород ведет к необходимости постоянного совершенствования способов поддержания горных выработок с применением усовершенствованных конструкций горных крепей. При этом необходима гибкая система контроля несущей способности и состояния крепи подземных горных выработок, позволяющая учитывать локальные изменения условий разработки и принимать оптимальные инженерные решения.

Вопрос обеспечения работоспособности крепи горных выработок для обеспечения промышленной безопасности горных работ является одним из основных в горнодобывающей отрасли. При снижении несущей способности анкеров растут смещения породного контура, возрастает количество и ширина раскрытия трещин в породах кровли, появляются локальные вывалы пород и завалы выработок. Несмотря на широкое использование анкерной крепи, специальных исследований по установлению влияния фактора времени и условий эксплуатации анкеров в слоистом массиве разнопрочных и разномодульных пород на их несущую способность до настоящего времени не проводилось. Недостаточно изучен характер изменений во времени силового баланса системы «анкерная крепь - вмещающие породы» при поддержании горных выработок в различных условиях. Из этого вытекает, что исследования, направленные на разработку прогрессивных технологических решений, обеспечивающих безопасную и эффективную эксплуатацию горных выработок при использовании анкерной крепи в слоистых массивах горных пород с обоснованием конструкции, механизма нагружения анкера, с учетом особенностей возведения крепи и нагружения в условиях разработки глубокозалегающих соляных месторождений, являются весьма актуальной задачей.

**Целью работы** 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.

**Идея работы** заключается в установлении и использовании 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 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.

**Основные научные положения**, сформулированные в работе, заключаются в следующем:

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».

#### **Новизна научных и практических результатов:**

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.

**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.

**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.

**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.

**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.

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

**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.

**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.** По теме диссертационной работы опубликовано 9 работ, из них 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и входящих в базу Scopus, и имеется 1 патент РФ на изобретение.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 159 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 17 таблиц, 2 приложения и список литературы из 92 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Обобщение мировой практики крепления горных выработок анкерной крепью, анализ технологических процессов в период установки анкеров и в процессе их эксплуатации позволил определить круг проблем, решение которых позволит повысить эффективность анкерного крепления и, как следствие, устойчивость выработок, увеличить темпы их проведения и снизить затраты.

Существенный вклад в теорию и практическое применение анкерного крепления в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях внесли известные российские ученые: А.А. Борисов, Н.С. Булычев, А.А. Зубков, В.Н. Калмыков, Н.М. Качурин, В.А. Лидер, И.А. Мартыненко, Н.И. Мельников, В.В. Некрасов, Л.А. Петров, В.М. Рогинский, А.А. Привалов, Б.Д. Терентьев, В.Н. Семевский, Б.И. Стрыгин, В.А.Ткачев, Н.Н. Фотиева, А.П. Широков, Г.Г. Штумпф и многие другие. Систематизация основных направлений исследований в части повышения эффективности технологии подземной добычи с поддержанием выработанного пространства анкерной крепью показали, что в современных реалиях усложнения горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений обеспечение устойчивости горных выработок на большинстве рудников производится преимущественно с использованием анкерного крепления. При этом происходит расширение технологических возможностей подземной добычи полезных ископаемых с обеспечением безопасности производства. Одновременно появляются новые задачи, связанные с совершенствованием анкерной крепи при отработке глубокозалегающих месторождений калийных солей с присутствием в породах кровли пропластков соляных пород различной мощности и морфологии, решение которых представляет актуальную задачу для практики освоения соляных месторождений и требует формирования новых подходов к обоснованию конструкции и параметров крепления горных выработок.

Такие условия характерны для разработки Гремячинского месторождения калийных солей. Районирование всего шахтного поля Гремячинского месторождения на основании полной 3D сеймики позволило выделить пологие участки с углами наклона пласта (0-12°) и наклонные участки с углами (12-35°), а также произведена актуализация структуры извлекаемых запасов с вовлечением в отработку пластов с углами наклона 12-35° с разработкой соответствующей им технологической схемы отработки наклонных участков. Представленные на рисунке 1 сложное строение кровли водозащитной толщи, сложная топология залежи при большой глубине горных работ – свыше 1000 м обуславливают необходимость разработки новых инновационных подходов для обеспечения устойчивости выработок в столь сложных условиях с совершенствованием видов, конструкции и параметров крепи.



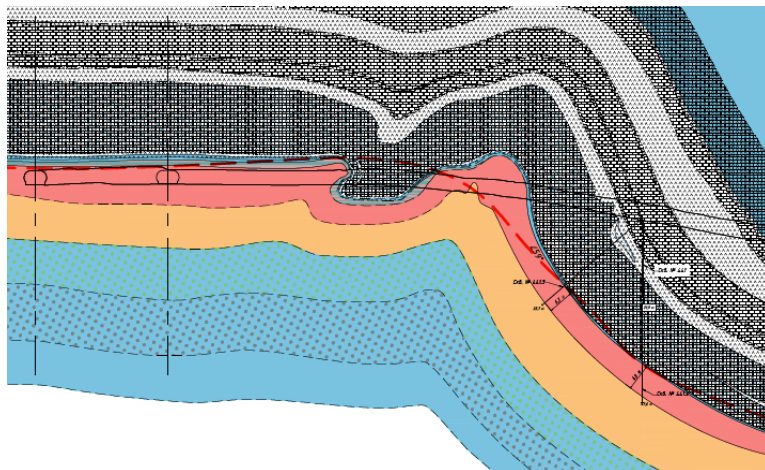


Рисунок 1 – Выкопировка с фактического сводного разреза по главному северо-восточному вентиляционному штреху

Обобщение и систематизация применяемых видов анкерной крепи показало, что основное отличие состоит в месте и способе закрепления анкеров: либо 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, или фрикционное закрепление упругого анкера в массиве горных пород. Фрикционный способ закрепления анкеров способствует росту интенсивности проходки выработок, снижению трудоемкости крепления, улучшению условий безопасности работ за счет набора несущей способности крепи сразу после установки. Поэтому этот способ крепления в диссертации принят как базовый.

В кровле выработок Гремячинского рудника встречаются прослои каменной соли, мощностью до 1 м, над ними залегают доломиты и ангидритовые породы, остаются слои сильвинита, толщиной до 60 см, может подрезаться пласт каменной соли с переменной мощностью, косесекущие прослойки галита (табл.1). Это оказывает существенное влияние на несущую способность и эффективность работы анкерной крепи. В результате отслоения пород крепь выдергивается из кровли выработок вместе с опорными плитами и полностью теряет несущую способность.

Для обоснования параметров крепи проведена систематизация вариантов сочетания соляных и ангидрит-доломитовых пород в кровле подземных

выработок, которая использована при разработке рекомендаций по выбору способа охраны и крепления горных выработок в условиях освоения глубокозалегающего Гремячинского месторождения с учетом категории устойчивости пород, вариантов и условий сочетания и залегания сильвинита, галита и ангидрит-доломитовых пород в кровле и стенках выработок.

Таблица 1 – Систематизация вариантов строения кровли сильвинитового пласта с учетом структурной нарушенности массива

1 вариант	2 вариант	3 вариант
<p>Сильвинит &gt;                      Замещение каменной солью &gt;                      Каменная соль &gt;                      Ангидрит-галитовая порода &gt;                      Ангидрит &gt;                      Ангидрит-доломитовая порода с включениями галита</p>	<p>•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</p>	<p>•Сильвинит &gt; каменная соль &gt; ангидрит-галитовая порода &gt; ангидрит &gt; ангидрит-доломитовая порода с включениями галита                      •Сильвинит &gt; каменная соль &gt; ангидрит &gt; ангидрит-доломитовая порода с включениями галита                      •Сильвинит &gt; каменная соль &gt; ангидрит-галитовая порода &gt; ангидрит-доломитовая порода с включениями галита</p>

Основные методы контроля состояния горных выработок, закрепленных анкерной крепью, применяемые в ходе проведения исследований:

- определение типа кровли и предела прочности пород на сжатие;
- определение трещиноватости слоев и прослоек, пересекаемых скважиной в массиве пород кровли;
- контроль за характеристиками деформационного состояния массива горных пород при помощи аппаратуры постоянного контроля деформационного состояния горных пород;
- проверка фактической несущей способности стержней анкерной крепи;

– систематический контроль эксплуатационных характеристик и состояния крепи путем визуальной оценки всех элементов с оценкой величины смятия демпфирующих элементов.

Для определения несущей способности анкера фрикционного типа применена схема, основанная на учете реальной деформации его стержня в шпуре (рис.2). После введения анкера в шпур исходная форма поперечного сечения стержня деформируется. Причем, экспериментально определено, что при длительном нагружении в соляных породах несущая способность СЗА растет за счет большего значения коэффициента Пуассона в солях и обеспечения дополнительного горизонтального зажима.

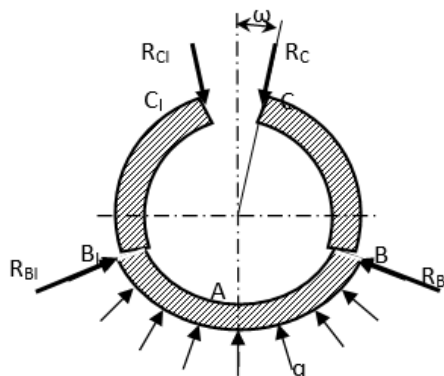


Рисунок 2 – Схема нагружения поперечного сечения стержня анкера

В основу методики расчета несущей способности анкерной крепи фрикционного типа положены решения, доказанные в докторской диссертации А.А. Зубкова, но скорректированные по результатам натурных замеров за счет разности деформационных характеристик пород Гремячинского месторождения и усовершенствования конструкции анкера СЗА путем введения вставок с различными деформационными характеристиками – более жесткими по вертикальному сечению в замковой части и с повышенным горизонтальным распором в поперечном сечении в зоне расположения соляных пород.

Определение зависимости характеристик в принятой схеме деформации поперечного сечения стержня от геометрических параметров шпура и стержня анкера выполнено на основе уравнения равновесия. При формировании модели применена схема нагружения, основанная на учете реальной деформации стержня в шпуре.

Доказано, что для обеспечения устойчивости конструкции элементов из крепи и массива горных пород вглубь на прогнозируемую зону развития

критических деформаций, с учетом расположения анкеров в кровле подготовительных выработок и величин деформаций в кровле и боках выработки, при наличии слоистых соляных и ангидрит-доломитовых пород, предпочтительно использовать анкер со вставками с изменяющимися деформационными характеристиками: более жесткими в вертикальном направлении в замковой части и в горизонтальном сечении в соляных породах, что позволяет закрепить породы в устойчивой зоне и при этом обеспечить нормативные смещения пород в приконтурной части выработки без потери несущей способности массива вмещающих пород.

Практика эксплуатации подготовительных выработок Гремячинского рудника показала, что при установке клинораспорного анкера в шпур в слоистых соляных породах, в районе замка нарушаются условия защемления, и нагрузка от отслоившихся пород передается на опорную плиту и гайку. Конструкция анкера КРА не рассчитана на восприятие этой нагрузки. Происходит выдергивание анкера и обрушение горных пород. За счет того, что конструкция анкера СЗА закрепляется по всей длине стержня и в соляных породах происходит дополнительное увеличение сил горизонтального зажима, несущая способность со временем нагружения растет. Этот факт нами зафиксирован в динамике экспериментально.

При этом анализ результатов испытаний свидетельствует о достаточно высокой несущей способности крепи СЗА и КРА в крепких ангидритах и доломитах. Сравнение результатов выполненных испытаний, проведенных через 3 месяца после установки крепей КРА и СЗА, свидетельствуют о достаточной несущей способности этих крепей фрикционного типа в прочных ангидрит-доломитовых породах (свыше 100 кН) и о преимуществе анкерной крепи типа СЗА в агрессивной среде Гремячинского рудника за счет защиты стержня 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 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.

Предложенные конструкции анкеров показаны, соответственно, на рисунках 3, 4.

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.

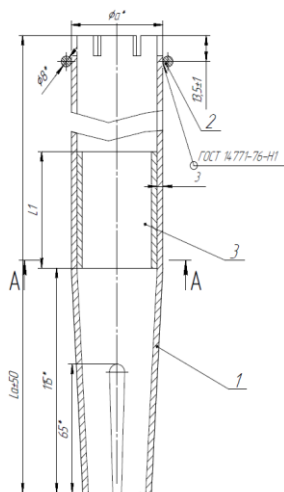


Рисунок 3 – Принципиальная схема анкера СЗА с усиленной вставкой: 1- \*Размеры справочные; 2- Защитное покрытие согласно ГОСТ 31559-2012 с изм. №1; 3-  $L_a$  – общая длина анкера от 1400 до 3050 мм.; 4-  $L_1$ -длина усиливающей вставки-100...300 мм; 5-  $\phi a$  зависит от  $\phi a$ .

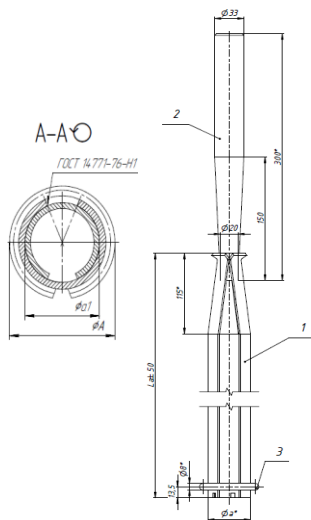


Рисунок 4 – Конструктивная схема анкера СЗА с металлическим клином: 1- \*Размеры справочные; 2- Защитное покрытие согласно ГОСТ 31559-2012 с изм. №1; 3-  $L_a$ -общая длина анкера от 1400 до 3050 мм.; 4-  $\phi a$  зависит от технических условий.

Усиление фрикционного взаимодействия достигалось различными вставками, изготовленными из дерева или пластика (рис.5), 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.

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.

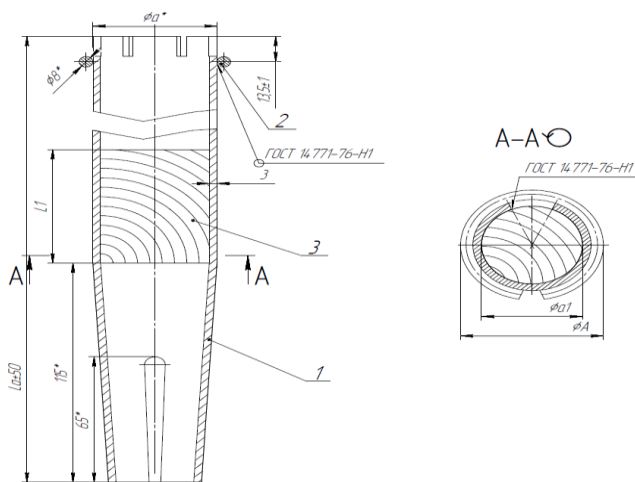


Рисунок 5 – Конструктивная схема анкера СЗА с деревянной вставкой:  
 1- \*Размеры справочные; 2- Защитное покрытие согласно ГОСТ 31559-2012 с изм. №1; 3-  $L_a$  – общая длина анкера от 1400 до 3050 мм.; 4-  $L_1$ -длина усиливающей вставки-100...300 мм; 5-  $\varnothing a$ 1 зависит от  $\varnothing a$

Опытно-промышленными испытаниями подтверждено, что при проходке выработок в слабоустойчивых породах выработку до и после ослабленного участка массива предпочтительно крепить усовершенствованными анкерами СЗА-УФК-1850-48 по схеме, представленной на рисунке 6.

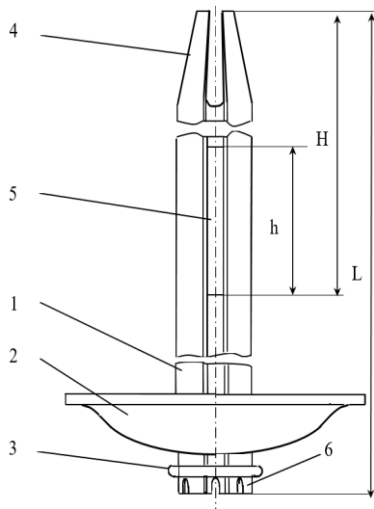


Рисунок 6 – Конструкция анкера СЗА-УФК-1850-48 с АКП типа ПНД: 1- стержень анкера СЗА по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся анкерная крепь»; 2- опорная плита СЗА по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся анкерная крепь»; 3- кольцо опорного узла по ТУ 3142-001-99309033-2008 «Самозакрепляющаяся 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; Ø- диаметр анкера, 48 мм

Анализ результатов испытаний самозакрепляющихся анкеров усовершенствованной конструкции (рис.7) в крепких и соляных породах позволил установить, что:

- минимально необходимая несущая способность (свыше 50 кН) в усовершенствованных конструкциях анкеров с усиленной металлической и деревянной вставкой обеспечивается как в соляной, так и в доломитовой толще пород, непосредственно после установки крепи. С ростом срока стояния крепи несущая способность таких анкеров растет;

- технология бурения шпуров в соляной толще не оказывает существенного влияния на несущую способность анкеров усовершенствованной конструкции;

- геометрические параметры шпура имеют принципиальное значение – перебур или недобур не допускаются и должны жестко контролироваться;

- наиболее стабильные показатели по несущей способности установлены для анкеров с деревянной вставкой.

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 приращения несущей способности от длины и типа вставки.

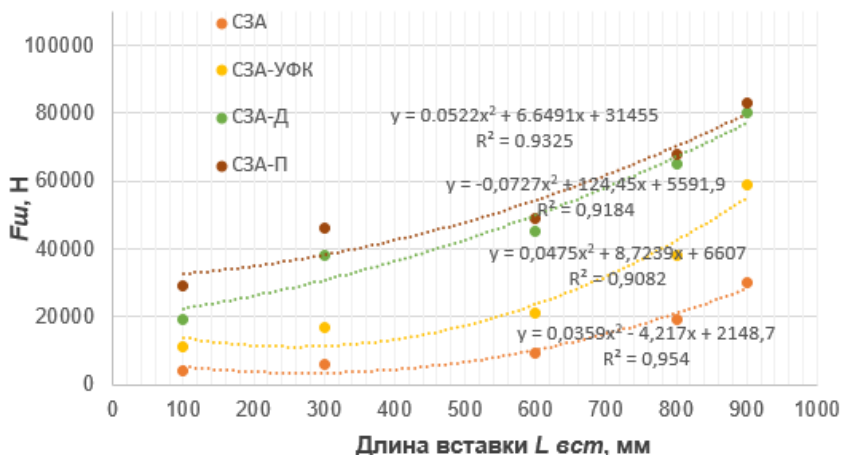


Рисунок 7 – Изменение несущей способности ( $F_{шт}$ ) анкера в зависимости от длины вставки ( $L_{вст}$ ) различных конструкций СЗА

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

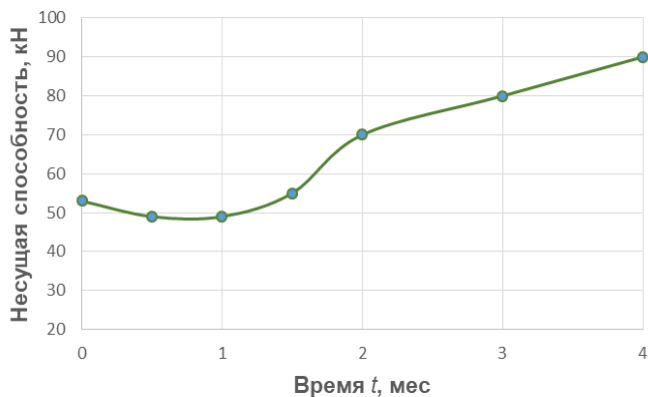


Рисунок 8 – Изменение несущей способности анкерной крепи СЗА, установленной в соляном массиве, во времени

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):

$$k_E = f(E_{вст}), \quad (1.1)$$

где  $E_{вст}$  – модуль упругости материала вставки, Н/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, уравнение несущей способности анкера:

$$F = 2[R_C + R_B + qD_{ш}(\pi - \beta)] \cdot f \cdot k_l, \quad (1.2)$$

можно представить в виде:

$$F = L \cdot 2[R_C + R_B + q \cdot D_{ш}(\pi - \beta)] \cdot f \cdot k_l \cdot k_E, \quad (1.3)$$

где  $L$  – длина анкера, м;  $R_C$  – сосредоточенная сила на торцах паза анкера, Н;  $R_B$  – распределенная сила в точках В и В<sub>1</sub>, Н;  $q$  – распределенная нагрузка на сферической поверхности анкера Н/мм<sup>2</sup>;  $D_{ш}$  – диаметр шпура, мм;  $\beta$  – угол, град.;  $k_l$  – коэффициент длины, определяется как отношение фактической длины рабочей части стержня к единичной длине,  $f$  – коэффициент трения скольжения в покое.

Анализ результатов численного моделирования геомеханического состояния слоистого массива соляных пород и ангидритов методом конечных элементов позволил установить параметры деформирования массива различной структуры при подработке, которые были учтены при обосновании паспортов крепления горных выработок.

Обоснованы расчетные параметры анкерного крепления: сетка установки анкеров в кровле выработок, 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, количество анкеров в расчете на 2023 г. сокращается в 2,25 раза. В диссертации проведен расчет потребного количества усовершенствованных анкеров СЗА в зависимости от сетки штангования и в приложении приведены паспорта крепления горных выработок с различным сочетанием вмещающих пород.

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.

## 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 крепление) 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: крепление 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.

**Основные научные и практические результаты опубликованы:**

***В изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России:***

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Рыльникова, М. В. Выбор типа и обоснование конструкции анкерной крепи горных выработок при разработке глубокозалегающих месторождений калийных солей / М. В. Рыльникова, Е. М. Сахаров, С. С. Неугомонов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 3. – С. 279-293.

5. Рыльникова, М. В. 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.

6. 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.

***В прочих изданиях:***

7. 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.

8. 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.

***В патентах РФ:***

9. 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.].

Изд. Лиц. ЛР №020300 от 12.02.97. Подписано в печать \_\_\_\_\_.

Формат бумаги 60x84. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 21. Тираж 100 экз. Заказ