

*На правах рукописи*

*Зубков.*

**Зубков Антон Анатольевич**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И СНИЖЕНИЕ РИСКОВ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ РУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СИСТЕМАМИ  
РАЗРАБОТКИ С ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ  
К НОВОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ**

Специальность

25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная)

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Магнитогорск-2022

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

**Научный консультант:** профессор, доктор технических наук  
**Рыльникова Марина Владимировна**

**Официальные оппоненты:** **Габараев Олег Знаурович**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-  
металлургический институт (государственный  
технологический университет)», г. Владикавказ,  
заведующий кафедрой горного дела,  
**Кузьмин Евгений Викторович**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГУП «Национальный оператор по обращению  
с радиоактивными отходами» ГК Росатом,  
г. Москва, главный специалист  
**Стась Галина Викторовна**,  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Тульский государственный университет», г. Тула,  
доцент кафедры геотехнологий и строительства  
подземных сооружений


**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «23» сентября 2022 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова») по адресу: 455000, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

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

Автореферат разослан « » июля 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук

  
Корнилов Сергей Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы.**

Добыча полезных ископаемых из недр Земли и извлечение ценных компонентов являются сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью самого факта существования человечества. Анализ динамики мировых объемов производства основных видов минерального сырья свидетельствует о непрекращающемся росте объемов потребления минеральных ресурсов.

Увеличение глубины ведения горных работ — общемировая реальность. Это влечет за собой усложнение горно-геологических, геомеханических, горнотехнических, природно-климатических условий освоения недр, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на устойчивость функционирования горнотехнических систем и безопасность ведения горных работ. Повышение экономической эффективности и обеспечение условий безопасного освоения месторождений требуют обоснования новых принципов проектирования горнотехнических систем освоения запасов месторождений на основе внедрения инновационных геотехнологий, при этом качественно изменяются значения конструктивных и технологических параметров систем разработки.

Анализ масштабов извлечения и потребления человечеством георесурсов дает основание заключить, что без совершенствования технологического уклада горного производства невозможно кардинально изменить состояние ресурсного взаимодействия геосферы и техносферы. Главным условием перехода к новому технологическому укладу является разработка и внедрение новых технологических решений, ранее не характерных для традиционных геотехнологических процессов, либо рассмотрение известных процессов в новом качестве с учетом изменения принципов реализации и организации контроля параметров горнотехнических конструкций с оценкой рисков их эксплуатации.

В связи с увеличением объемов добычи полезных ископаемых и необходимостью интенсификации горного производства, устойчивой тенденцией снижения качества извлекаемых из недр полезных ископаемых при усложнении горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условий разработки месторождений становится актуальным решение задач, связанных с совершенствованием сдерживающих интенсификацию горных работ способов проходки и поддержания горных выработок, возведения постоянной и временной крепи, оперативным контролем за ее состоянием и несущей способностью, разработкой и внедрением новых способов создания несущих горных конструкций и закладочных массивов, определяющих эффективность горного производства и безопасность ведения горных работ. Эта проблема становится все более насущной в связи с ростом риска эксплуатации месторождений в особо сложных условиях, необходимостью освоения, а следовательно, и де-

тального изучения глубинных зон земной коры. Интенсификация горных работ, постоянный рост производственных мощностей горных предприятий приводят к значительной концентрации техногенных воздействий, перемещению значительных масс горных пород, нарушению гидрогеологического режима месторождений. Это вызывает изменение природных геодинамических равновесий в массиве горных пород, сформировавшемся в течение миллионов лет, и обуславливает проявления динамических форм горного давления и других нежелательных процессов, отрицательные последствия развития которых могут уничтожить созидательный эффект человеческой деятельности.

Проблема интенсификации горных работ и снижения рисков эксплуатации подземного рудника при освоении месторождений на больших глубинах, при наличии напорных вод, газоносности массива горных пород, указывает на актуальность темы диссертационной работы и ее значимость для науки и практики горнорудной промышленности. Актуальность исследований обостряется еще и тем, что уже сегодня эксплуатируемые и находящиеся на этапах строительства подземные рудники зачастую несут большие убытки, обусловленные недооценкой возможностей применения инновационных вариантов обеспечения устойчивости и крепления горных выработок, методов возведения закладочных массивов с усовершенствованными составом и технологией формирования закладочных смесей.

**Целью исследования** является обоснование условий перехода подземного рудника к новому технологическому укладу в сложных горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях с обеспечением интенсификации горных работ для повышения эффективности и снижения рисков функционирования горнотехнических систем.

**Идея работы** заключается в снижении риска эксплуатации рудного месторождения системами разработки с твердеющей закладкой на основе выявления сдерживающих интенсификацию горных работ факторов и устранения их влияния путем совершенствования и синхронизации продолжительности основных и вспомогательных геотехнологических процессов и определения рационального направления отработки месторождения.

Для достижения поставленной цели исследования и реализации идеи были сформулированы и впоследствии решены следующие **задачи**:

- выполнен анализ изменения условий развития подземных работ на мощных подземных рудниках при осложнении горно-геологических, гидрологических характеристик рудных залежей и геомеханических условий освоения вовлекаемых в эксплуатацию глубоких горизонтов;
- исследованы условия и факторы интенсификации горных работ при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства;

- усовершенствованы конструкции и разработаны методы расчета анкерной и комбинированной крепи горных выработок;
- исследовано влияние способа возведения и вида анкерной и комбинированной крепи на скорость проходки подземных выработок;
- оценены технологические характеристики, несущая способность крепи и скорость ее набора для обеспечения интенсификации горных работ, разработан алгоритм выбора и оценки параметров крепи;
- исследовано влияние технологии закладочных работ, состава закладочной смеси и способов ее приготовления и подачи в выработанное пространство, формирования закладочных массивов на интенсивность горных работ;
- разработаны технологические рекомендации по повышению интенсивности горных работ и становлению нового технологического уклада на крупных отечественных подземных рудниках, оценена их экономическая эффективность и риски при реализации.

**Объект исследований:** технология подземной добычи руд с применением камерной системы разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при восходящем и нисходящем направлениях отработки месторождений.

**Предмет исследования:** параметры основных и вспомогательных технологических процессов, сдерживающих интенсификацию горных работ, повышение эффективности и снижение риска эксплуатации месторождения.

**Методология и методы исследования.** Достоверность выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе, подтверждается применением комплексного метода исследований, включающего: анализ источников научно-технической информации по тематике работы, мониторинг состояния горных работ на действующих рудниках; проведение лабораторных, опытно-промышленных и промышленных экспериментов; физическое, математическое и экономико-математическое моделирование, натурные эксперименты по изучению конструкций, показателей возведения и несущей способности крепи, исследования свойств и состояния природных и техногенных массивов; масштабные опытно-промышленные эксперименты в условиях действующих подземных рудников; статистическая обработка результатов исследований.

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

Информационно-эмпирическая база исследования была сформирована на основе изучения и совершенствования технологий подземной разработки Гайского, Учалинского, Узельгинского и Озерного месторождений медно-колчеданных руд, крупного железорудного месторождения КМА Яковлевское, алмазных месторождений Якутии, месторождения полиметаллических руд Орловское.

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

1. Переход горнотехнической системы с применением твердеющей закладки к новому технологическому укладу базируется на гармоничном совершенствовании основных и вспомогательных геотехнологических процессов, сдерживающих рост интенсивности горных работ: проходка и крепление горных выработок, формирование изолирующих перемычек, несущих потолочин, заполнение выработанного пространства твердеющей смесью, а также обеспечивается определением рационального направления развития горных работ.

2. Переход с нисходящего на восходящее направление выемки запасов месторождения в усовершенствованном варианте камерной системы разработки с твердеющей закладкой позволяет сократить продолжительность отработки блока не менее чем в два раза; при этом снижение требований к нормативной прочности закладочной смеси обеспечивает экономию затрат на формирование закладочного массива на 25–50%.

3. Реализация технологий проведения и крепления горных выработок с применением усовершенствованных конструкций самозакрепляющихся анкеров (СЗА) и решений по формированию комбинированной усиленной крепи на основе армокаркаса, металлической сетки, СЗА и торкрет-бетона позволяет сократить сроки проходки подготовительно-нарезных выработок на 33–40% в породах III и IV категорий устойчивости и на 30% в породах V категории устойчивости.

4. Реализация предложенной технологии крепления очистных заходок рамами СВП-22 взамен СВП-27 при длине уходки забоя 1 м и усовершенствовании схемы организации работ с переносом всех подготовительных операций на поверхность шахты обеспечивает увеличение скорости проходки очистных выработок с 90 до 120 м в месяц при сокращении ее стоимости на 25–30%.

5. Внедрение предложенного безопасного способа возведения изолирующей перемычки с использованием ускорителей схватывания твердеющей смеси и формирование несущего слоя закладочного массива в основании камеры на высоту не менее высоты перемычки, при отказе от цикличности процесса, способствует сокращению более чем вдвое срока формирования несущего слоя и исключает его слоистость.

6. Повышение интенсивности и снижение рисков ведения горных работ обеспечиваются выбором схемы их развития на выемочном участке и в выемочных единицах с максимальным совмещением технологических процессов в смежных камерах и достижением сбалансированности продолжительности процессов извлечения и воспроизводства запасов при синхронизации интенсивности смежных процессов и сокращении межпроцессных пауз.

**Научная новизна диссертационного исследования:**

1. Концептуальный подход к повышению интенсивности отработки запасов рудного месторождения системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при переходе к новому технологическому укладу, базирующийся на гармоничном совершенствовании основных и вспомогательных геотехнологических процессов, сдерживающих рост интенсивности горных работ: проходки и крепления горных выработок, формирования изолирующих перемычек, несущих потолочин, заполнения выработанного пространства твердеющей смесью, а также на определении рационального направления и порядка развития горных работ.

2. Обоснование параметров технологии и способа формирования изолирующих перемычек безопалубочным методом в режиме непрерывной подачи смеси с отказом от цикличности процесса, что позволяет сформировать равнопрочный несущий закладочный массив на всю высоту и обеспечивает увеличение скорости подготовки камеры к закладке более чем в два раза.

3. Методика расчета параметров самозакрепляющейся анкерной крепи различной модификации в сочетании с усиливающими элементами в специфических горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях, отличающаяся учетом способа и характера закрепления анкера в замке и силового воздействия дополнительных несущих элементов.

4. Зависимости нормативной прочности твердеющей закладочной смеси при нисходящем порядке отработки месторождения от ширины камер и мощности несущего слоя.

5. Методы повышения коррозионной стойкости анкерной крепи в агрессивной рудничной среде, выбор которых определяется способом возведения и конструктивными особенностями крепи, сроком ее эксплуатации, а также спецификой свойств и состава укрепляемых горных пород.

**Теоретическая значимость** исследований состоит в обосновании инновационного подхода к формированию стратегии развития подземных рудников при переходе к новому технологическому укладу, основанному на совершенствовании основных и вспомогательных технологических процессов при нисходящем и восходящем порядке выемки запасов месторождения с обеспечением интенсификации горных работ, повышением эффективности и снижением риска эксплуатации рудных месторождений в сложных условиях системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства.

**Практическая ценность** работы заключается в совершенствовании способов обеспечения устойчивости выработок и возведения крепи, разработке инновационной конструкции крепи, методов, способов возведения закладочных массивов и составов смеси со своевременным контролем их характеристик и

несущей способности для обеспечения интенсификации горных работ и снижения риска эксплуатации месторождения.

**Практическая значимость** диссертации заключается в разработке и внедрении технологических рекомендаций по повышению интенсивности горных работ на подземных рудниках при разработке мощных рудных месторождений в сложных горно-геологических, гидрологических и геомеханических условиях.

К элементам научно-методического вклада в развитие теории обоснования параметров подземной геотехнологии относятся следующие результаты:

— установлены закономерности влияния технологии приготовления и возведения закладочной смеси изолирующих перемычек и закладочных массивов на интенсивность горных работ;

— усовершенствованы конструкция и способы возведения анкерной и усиленной комбинированной крепи, установлено влияние параметров крепи на интенсивность горных работ;

— обоснованы параметры системы мониторинга качества возведения, набора несущей способности, ремонтпригодности и восстановления крепи после ремонта;

— предложены технологии формирования изолирующих перемычек и закладочных массивов, обеспечивающих рост интенсивности горных работ;

— произведено сравнение и определены условия применения нисходящего и восходящего порядка отработки месторождения.

**Личный вклад автора** заключается в определении цели и задач исследования; формулировании основной идеи для достижения цели, в разработке комплекса организационно-технических мероприятий по повышению интенсивности подземной добычи руд с применением камерной системы разработки с твердеющей закладкой в восходящем и нисходящем порядке; в выполнении лабораторных и натурных исследований по подбору составов смеси и способов возведения закладочных массивов, совершенствовании конструкции крепи горных выработок; в обобщении результатов аналитических, лабораторных, опытно-промышленных и промышленных исследований, формулировании выводов и рекомендаций; в разработке и технико-экономическом обосновании эффективности внедрения технологических рекомендаций.

**Достоверность научных результатов** обеспечивается: обобщением предшествующих научных достижений, достаточным объемом лабораторных экспериментов, использованием признанных методов исследований и сертифицированных программных продуктов, применением аналитического и численного моделирования с верификацией теоретических и экспериментальных результатов исследований, корректностью постановки задач и граничных условий, достоверностью исходных данных, принятых на основе лабораторных



опытов, натурных наблюдений и результатов деятельности подземных рудников, доверительной сходимостью результатов исследований с использованием различных методов.

**Реализация выводов и рекомендаций.** Основные положения диссертационной работы использованы в проектных решениях по отработке месторождений Учалинское, Узельгинское, Озерное, Гайское и ряда других.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Основные идеи и содержание диссертационной работы докладывались на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2016–2022), Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (г. Екатеринбург, 2012, 2017, 2018), Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (г. Бишкек, 2015), Международной конференции «Комбинированная геотехнология» (г. Магнитогорск, 2013, 2015, 2017, 2019, 2021), Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» «Горнодобывающая промышленность в XXI веке: вызовы и реальность» (г. Мирный, 2021), Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья» (г. Екатеринбург, 2019), на Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век» (г. Челябинск, г. Пласт, 2020, 2022), Международной научной школе академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (г. Москва, 2018, 2020).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 33 научных работах, из них: 14 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования; 17 — в прочих изданиях; 1 монография, 1 учебное пособие, а также получено 19 патентов.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключительных выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, насчитывающего 221 наименование. Работа изложена на 360 страницах, содержит 55 таблиц и 99 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе* выполнено обобщение опыта внедрения нового технологического уклада на крупных подземных рудниках и перспективы роста объемов производства и снижения риска горных работ.

Неоспоримый вклад в развитие теории и практики методов и способов подземной разработки рудных месторождений, управления состоянием массива гор-

ных пород, а также технологии формирования закладочных массивов при разработке месторождений полезных ископаемых, включая условия освоения рудных залежей на больших глубинах, внесли выдающиеся ученые: академики РАН М.И. Агошков, М.В. Курленя, Н.В. и Н.Н. Мельниковы, К.Н. Трубецкой, член-корреспонденты РАН Д.Р. Каплунов, И.Ю. Рассказов, доктора наук И.И. Айнбиндер, В.И. Борщ-Компаниец, Д.М. Бронников, Н.П. Влох, Ю.В. Волков, О.З. Габараев, В.И. Голик, Ю.В. Демидов, А.А. Еременко, Н.Х. Загиров, Н.Ф. Замесов, О.В. Зотеев, А.В. Зубков, В.Р. Именитов, М.А. Иофис, Д.М. Казикаев, В.Н. Калмыков, Р.П. Каплунов, Э.В. Каспарьян, А.А. Козырев, Е.В. Кузьмин, Г.Н. Кузнецов, В.С. Литвиненко, А.Б. Макаров, В.Н. Опарин, И.В. Соколов, М.В. Рыльникова, И.Н. Савич, С.М. Ткач, А.М. Фрейдин и другие. В трудах ученых рассмотрены новые подходы к обеспечению устойчивого развития горного производства и принципы обоснования параметров экологически сбалансированного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. Следует отметить, что в известных трудах не достаточно проработан вопрос о методах повышения интенсивности горных работ с учетом инновационных технологий формирования разнопрочных твердеющих массивов в условиях отработки запасов в сплошном порядке с применением систем разработки с твердеющей закладкой.

Анализ современного состояния теории и практики разработки глубоко залегающих рудных месторождений в сложных горно-геологических и геомеханических условиях позволяет выделить, в качестве перспективного способа управления состоянием рудовмещающего массива, технологии с погашением выработанного пространства твердеющей закладкой различного состава и несущей способности. При этом проблема оптимизации способов управления горным давлением сводится к установлению адекватной зависимости между параметрами технологий, затратами на добычу руды и последствиями от влияния горных работ.

Однако, несмотря на имеющийся опыт и ряд новых технологических решений, способы управления состоянием рудовмещающего массива нуждаются в совершенствовании. Поэтому совершенствование технологий закладки выработанного пространства, обеспечивающих повышение эффективности отработки мощных залежей руд на больших глубинах, интенсификацию горных работ и снижение рисков эксплуатации подземного рудника за счет повышения скорости набора и величины несущей способности закладочных массивов и снижения затрат на их возведение, является важной и актуальной для горно-рудной промышленности проблемой.

В настоящее время камерная система с твердеющей закладкой и использованием самоходного оборудования применяется при разработке как отечественных месторождений: Гайское, Учалинское, Узельгинское, Молодежное,

Тарньерское и других, так и в зарубежных странах: Канаде (рудники Хорн, Флин Флон, Кидд Крик, Финляндии (рудники Пихасалми, Коталаhti), Австралии (Маунт Айза) и др.

Данная система разработки позволяет обрабатывать рудные тела с минимальными потерями, разубоживанием; обеспечить безопасность работ при высоком горном давлении и пожароопасности руд; сохранить земную поверхность; увеличить фронт очистных работ; избежать эндогенных пожаров. Однако, поддержание выработанного пространства твердеющей закладкой сопряжено со значительными затратами на вяжущее и инертный заполнитель. Также, системы разработки с закладкой по отношению к системам с обрушением и естественным поддержанием выработанного пространства характеризуются большими сроками отработки за счет затрат времени на формирование закладочного массива и последующего набора прочности закладки.

Систематизация и анализ возможностей применяемых технологических решений свидетельствует о том, что в методологическом плане требования по интенсификации разработки минеральных ресурсов при освоении недр должны предъявляться не к отдельным технологическим процессам, а быть заложены в основу общей парадигмы построения геотехнологий. Генеральная идея работы заключается в том, что направление инновационного развития и совершенствования способов проходки выработок, возведение крепи и ее конструкции, методов, способов возведения закладочного массива и составов смеси со своевременным контролем их характеристик и несущей способности определяется особенностями геотехнологического строения и горнотехнических условий разработки рудных тел и обеспечивает интенсификацию горных работ, а также снижение риска эксплуатации подземного рудника.

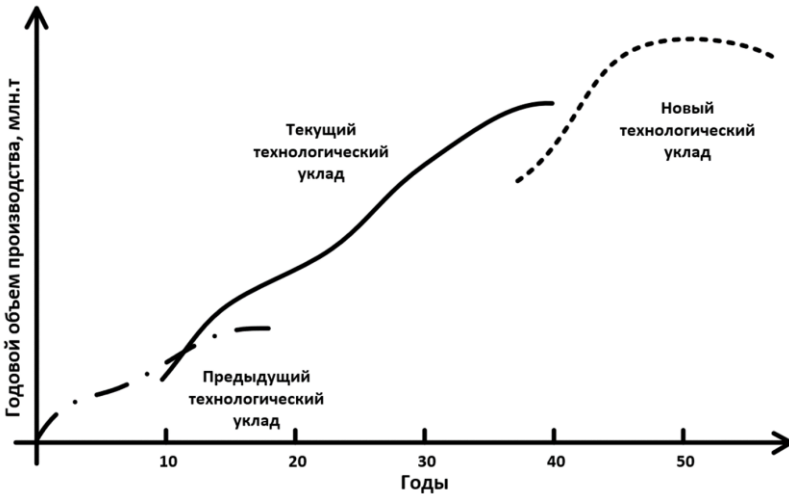
Поддержание выбывающих мощностей с учетом изменения качества добываемого сырья и повышения показателей эффективности функционирования горнотехнической системы можно достичь за счет интенсификации горных работ и снижения рисков эксплуатации подземных рудников при переходе к новому технологическому укладу. Для повышения эффективности освоения глубокозалегающих месторождений требуется оптимизировать параметры горных работ, техники и технологии, изучить принципы рационального сочетания различных ресурсосберегающих, малоотходных и ресурсовоспроизводящих технологических процессов, способов приготовления закладочной смеси с формированием ее из отходов добычи и переработки руд природно-техногенного массива, который становится элементом горнотехнической системы эксплуатации месторождений и служит для повышения устойчивости и несущей способности ограждающих конструкций, сохранения георесурсов для

перспективного вовлечения их в промышленную эксплуатацию.

Анализ изученности проблемы позволил сформулировать цель и задачи исследований.

*Во второй главе* диссертации получили развитие научно-методические основы совершенствования технологического уклада подземного рудника.

Разработка и внедрение новых прогрессивных технологий и совершенствование организации производственных процессов способствуют росту производительности труда, экономии материальных и трудовых затрат и, вместе с тем, удовлетворению возрастающих потребностей обеспечения минеральными ресурсами (рис. 1). В рамках технологического уклада, который представляет целостное и устойчивое образование, осуществляется воспроизводственный цикл, включающий добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления. Технологический уклад обладает сложной структурой, состоящей из элементов различного функционального назначения.



**Рисунок 1** – Последовательность смены технологических укладов на горных предприятиях

В этой связи можно выделить основные принципы перехода к новому технологическому укладу:

- использование возобновляемой энергии технологических процессов в горнотехнической системе;
- интеллектуализация и роботизация основных и вспомогательных технологических процессов;

- экологизация производства и широкомасштабное внедрение ресурсосберегающих технологий.

Имеющийся научный задел в области перехода горнорудных предприятий к новому технологическому укладу путем кардинального изменения геотехнологий разработки месторождений указывает на необходимость внедрения элементов нового технологического уклада на базе интеллектуальных роботизированных геотехнологий и горного оборудования, работающего в автономном режиме, оснащенного современными программными комплексами и цифровым описанием. Анализ влияния технологии проходки, способа и параметров крепления горных выработок на интенсивность подземной добычи руды позволил определить перспективные направления перехода к новому технологическому укладу:

- снижение риска эксплуатации подземного рудника на основе интенсификации горных работ и совершенствования способов проходки и крепления горных выработок, методов возведения закладочного массива и составов смеси со своевременным оперативным контролем их характеристик и несущей способности;
- совершенствование конструкции горной крепи, методов ее возведения и сроков набора несущей способности;
- совершенствование технологии и способов возведения закладочных массивов, составов закладочной смеси для скорейшей изоляции подземных камер и выработанного подземного пространства;
- внедрение интеллектуализации геотехнологий и цифровой трансформации горного производства;
- создание микроклиматических зон в подземных рудниках в зависимости от факта и частоты присутствия человека с возможностью управления параметрами воздушной среды;
- разработка новых принципов организации труда в подземном руднике для обеспечения безопасности производства – установление правил и критериев работы в условиях применения мобильного высокопроизводительного оборудования и целенаправленного изменения физических свойств участка недр в целях адаптации к изменяющимся условиям.

Необходимо отметить, что работы по закладке выработанного пространства твердеющими смесями включает процессы, относящиеся к разным технологическим укладам. В этих условиях устойчивое функционирование всей горнотехнической системы возможно обеспечить только на основе гармонизации технологических процессов в единый технологический уклад. Это возможно на основе внедрения уже на стадии проектирования и в ходе всего жизненного цикла освоения участка недр интеллектуальной горнотехнической

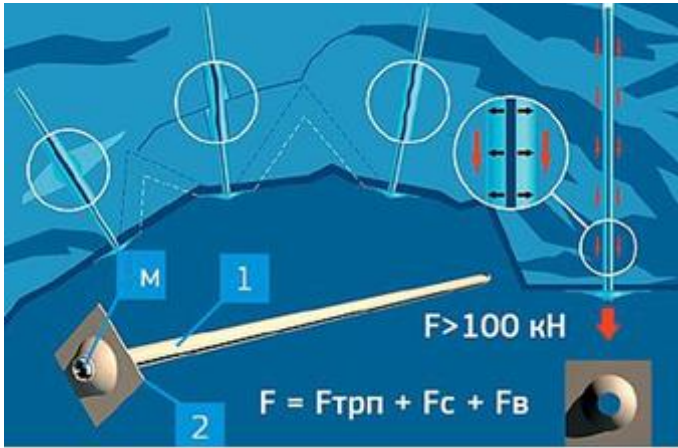
системы, оснащенной современным оборудованием для мониторинга и контроля состояния массива, а также программируемым оборудованием, программными средствами и цифровизацией всех элементов системы в режимах прогноза и реального времени, которые способны обеспечить потребности общества в минерально-сырьевой товарной продукции.

Основными принципами повышения интенсивности горных работ при отработке руд в сплошном порядке с применением камерной системы с твердеющей закладкой являются:

- рациональная интенсификация технологических процессов для достижения сбалансированности продолжительности процессов извлечения и воспроизводства запасов, соразмерности интенсивности в смежных процессах при сокращении межпроцессных пауз;
- обеспечение качества результатов производственных процессов. Например, закладочные работы должны обеспечивать стабильное функционирование горнотехнической системы на весь срок службы в результате достижения нормативной прочности закладочной смеси в требуемые сроки;
- выбор схемы развития горных работ на выемочном участке и в выемочных единицах, обеспечивающей максимальное совмещение производственных процессов в смежных камерах;
- интеллектуализация производственных процессов при ведении закладочных работ с непрерывным мониторингом и цифровой трансформацией на всех стадиях и этапах развития горных работ.

Значительный объем затрат при добыче полезных ископаемых, разрабатываемых подземным способом, приходится на работы по укреплению подземных выработок. Основной задачей крепления выработок является предотвращение вывалов пород в пространство выработок, используемых для транспортных и технологических целей.

Наибольшее распространение имеет технология крепления подземных выработок, включающая четыре этапа: бурение шпуров, установка и закрепление анкеров, крепление к анкерам армирующей сетки, создание каркаса из бетонной смеси. Наиболее ответственными и трудоемкими являются работы, выполняемые на втором этапе. В настоящее время разработан и реализован ряд прогрессивных способов, позволяющих повысить надежность установки анкеров и одновременно снизить трудоемкость. Базовая конструкция анкера непрерывно совершенствуется. При этом, основная составляющая технологического процесса остается неизменной. Самозакрепляющийся анкер (СЗА) представляет собой несущий элемент 1 (НЭ), с жестким упором 3, и опорную плиту 2, установленную свободно на НЭ (рис.2).



**Рисунок 2** – Самозакрепляющаяся анкерная крепь: 1 – несущий элемент, 2 – опорная плита, М – жесткий упор

Анализ инновационных технических решений в области совершенствования конструкций анкерных крепей показал, что каждый подход способен незначительно повысить интенсивность подземной добычи руд. Но при использовании комплексного подхода к возведению крепей с использованием сразу нескольких инновационных решений возможно существенное сокращение времени, затрачиваемого на подготовительно-нарезные работы и, соответственно, на продолжительность освоения выемочных мощностей.

В третьей главе исследованы условия и факторы интенсификации горных работ при системах разработки с закладкой выработанного пространства.

Анализ применения систем разработки с закладкой выработанного пространства позволил выделить следующие направления интенсификации горных работ:

- совершенствование технологии проведения и крепления подготовительных и нарезных выработок;
- переход на восходящий порядок отработки запасов в пределах эксплуатационного этажа и всего месторождения;
- оптимизация пространственного расположения отрезного восстающего (отрезной щели) и способов его проходки;
- интенсификация буровзрывных работ в камере;
- подбор эффективных режимов выпуска и доставки руды;
- повышение скорости сооружения изолирующих перемычек;
- подбор составов закладочной смеси с целью снижения времени набора

нормативной прочности закладки;

- разработка порядка отработки выемочных единиц.

Анализ производственного цикла при отработке медно-колчеданных месторождений показал, что наибольшей длительностью характеризуются операции закладки выработанного пространства, состоящие из следующих процессов: возведение изолирующих перемычек и заливка твердеющей смеси на их уровень; заполнение смесью выработанного пространства; набор твердеющим массивом нормативной прочности.

Анализом календарных планов отработки запасов месторождения в восходящем порядке системами с комбинированной закладкой установлено, что до 30% времени затрачивается на возведение изолирующих перемычек и твердения в них закладочного массива.

Для сокращения времени возведения изолирующих перемычек были разработаны составы быстротвердеющих бетонов, обеспечивающие одновременную заливку перемычки на высоту до 2 м, тогда как при традиционной технологии она не превышает 1-1,2 м. Причем, сокращение времени укладки закладочной смеси в запалубочное пространство обеспечивается использованием пневматического бетоноукладчика типа ШБ, позволяющего готовить смесь и транспортировать ее на значительные расстояния. Анализ результатов исследований показал, что задействование ускорителей твердения смеси EKOSAL и Stacheplast в количестве, соответственно, 1% и 0,2% от массы цемента и механизированной укладки бетона обеспечивает сокращение затрат времени на возведение изолирующих перемычек в среднем в 2 раза. Сменная производительность по формированию перемычки увеличилась с 8 до 16 м<sup>3</sup>/смену (табл.1).

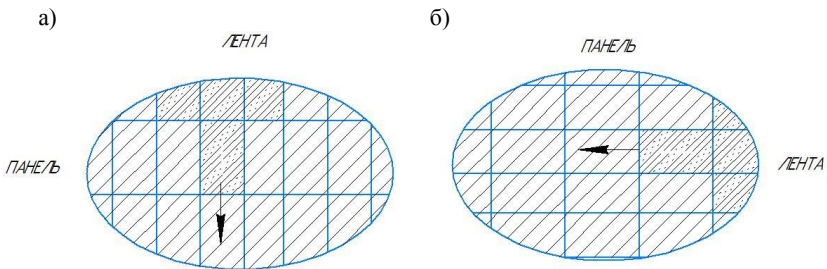
**Таблица 1** – Затраты времени на возведение при традиционной и рекомендуемой технологии

Показатели		Технология:	
		традиционная	рекомендуемая
Состав бетона на 1м <sup>3</sup> , перемычки	Цемент, кг	250	430
	Отсев, кг	1500	1500
	Ускоритель твердения EKOSAL+ Stacheplast	-	EKOSAL - 4,5 кг. Stacheplast-0,86кг.
Толщина перемычки, м		0,5	0,5
Высота одновременной заливки, м		1	2
Способ укладки бетона		Ручной	Механизированный
Затраты времени на возведение перемычки, сут		5	2,5



Увеличение прочности твердеющей смеси изолирующих перемычек путем введения ускорителей твердения позволяет внедрить непрерывный цикл заливки основания камеры, что в сравнении с традиционной технологией закладки выработанного пространства, где заливка основания камеры осуществляется послойно на высоту 1-1,5 м, во избежание превышения предельного гидростатического давления на перемычки и разрушения последних, обеспечивает снижение сроков их возведения минимум вдвое.

Отработка пологих рудных тел, имеющих большие площади, характеризуется применением подготовки с разделением запасов на панели и ленты. При этом ориентирование выемочных единиц может быть как по простиранию участка, так и вкрест простирания (рис. 3).



**Рисунок 3** – Схема раскройки залежи и развития горных работ при расположении ленты: а) вкрест простирания; б) по простиранию

Доказано, что повышения интенсивности отработки участка можно добиться путем расположения камер лентами, что обеспечивает возможность вовлечения в отработку смежной в ленте камеры до окончания срока твердения закладки.

На основе выполненных исследований обоснована схема интенсификации горных работ при освоении мощных крутопадающих месторождений с применением систем разработки с твердеющей закладкой. В основе разработанной схемы развития работ лежит принцип деления рудного тела на панели и ленты при ориентации последних по простиранию залежи. Данный порядок отработки камер предполагает уступную форму фронта развития горных работ. Центральная часть фронта развития горных работ отрабатывается с опережением так, чтобы обеспечить возможность ведения горных работ в смежных выемочных единицах. Реализация предложенной схемы горных работ позволяет обеспечить стабилизацию ритмичности рудопотока при отработке, в частности месторождения Озерное, на 30% за счет увеличения количества камер, находящихся одновременно в очистной выемке (рис. 4).

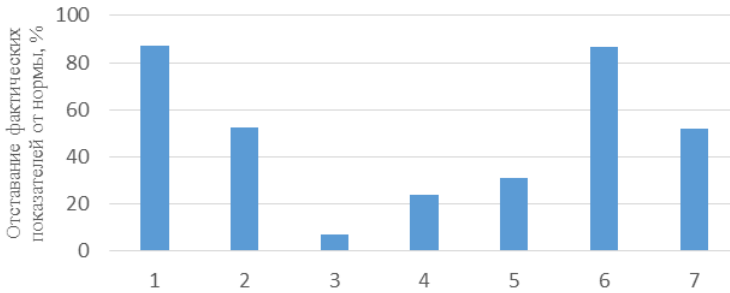


**Рисунок 4** – Характеристика ритмичности рудопотока на примере разработки месторождения Озерное

Сравнение значений технической и фактической эксплуатационной производительности, при реализации различных технологических операций, позволяет сделать вывод, что имеются резервы сокращения временных затрат на 45–150%, при снижении продолжительности подготовки камер в блоках и панелях в 1,5-2 раза.

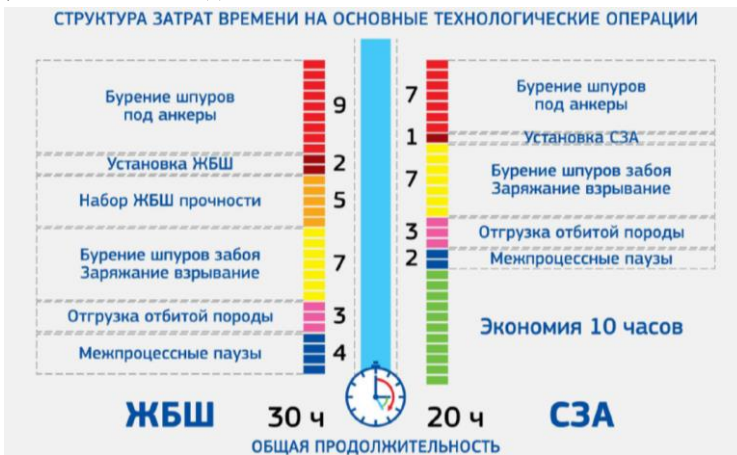
В результате анализа нормативных и фактических показателей технологических процессов построена диаграмма производительности, демонстрирующая отставание показателей, полученных хронометражем, от нормативных показателей, рассчитанных исходя из горно-геологических условий и характеристик применяемого оборудования (рис.5). Установлено, что отставание от нормативных показателей практически в 2 раза проявляется в процессе бурения и установки СЗА бурильной установкой с одним перфоратором. Кроме того, исследования показали, что снижение плеча откатки с 200 до 150м повышает производительность лишь на 1%, при этом, увеличение объема горной породы, вмещающейся в ковш ПДМ, способно увеличить производительность более чем на 5%. Отставание фактических показателей от нормативных в процессе нанесения набрызгбетона составили 30% и продолжают расти при увеличении стоя покрытия.

Таким образом, наиболее емким технологическим процессом в вопросе отставания фактической производительности от нормативной имеет процесс бурения и установки СЗА.



**Рисунок 5** – Отставание фактических показателей от нормативных для следующих технологических процессов: 1 – подготовка к бурению установкой с одним перфоратором, 2 – бурение установкой с одним перфоратором; 3 – зарядание шпуров; 4 – уборка горной массы; 5 – крепление набрызгбетоном; 6 – установка СЗА буровой установкой с двумя перфораторами; 7 – установка СЗА буровой установкой с одним перфоратором

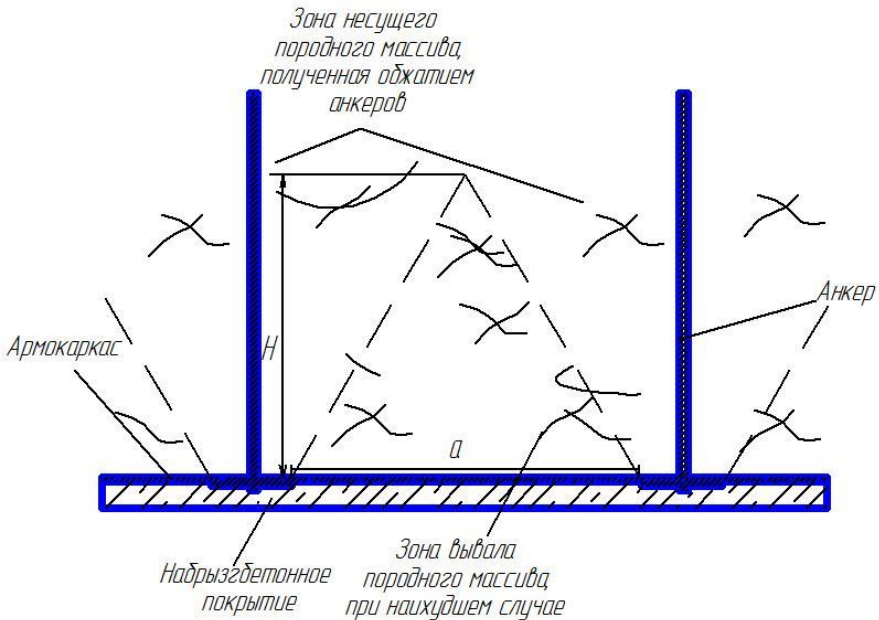
По результатам проведения испытаний, время на установку одного анкера СЗА с подготовительно-заключительными работами составило 3–5 минут. Определена сравнительная структура затрат времени на выполнение основных технологических операций крепления железобетонными штангами и самозакрепляющимися анкерами (рис. 6). Доказано, что переход с технологии крепления ЖБШ на технологию крепления анкерами СЗА с применением бурильных машин приводит к увеличению скорости проходки подготовительно-нарезных выработок с 84 до 126 п.м./мес. Время подготовки блока, размером 30х50м, снизилось на 19 дней – 33%.



**Рисунок 6** – Структура затрат времени на выполнение основных технологических операций при креплении анкерами ЖБШ и СЗА

На Сибайском подземном руднике проведены исследования целесообразности замены арочной металлической крепи из спецпрофиля СВП и усиленной комбинированной крепи из железобетонных анкеров и набрызгбетона, армированного металлической сеткой, с их установкой вручную, на усиленную комбинированную крепь с использованием самозакрепляющихся анкеров и применением самоходных бурильных установок, с целью интенсификации подготовительно-нарезных работ и ускорения ввода новых камер в отработку.

Схема расчета параметров усиленной комбинированной крепи с использованием самозакрепляющихся анкеров представлена на рисунке 7.



**Рисунок 7** – Схема к расчету усиленной комбинированной крепи с использованием самозакрепляющихся анкеров

На основании выполненных исследований определены параметры крепления горных выработок для различных классов устойчивости (таблица 2).

Определены условия наиболее интенсивного выполнения работ по проходке и креплению горных выработок на больших глубинах: применение усиленной комбинированной крепи на основе СЗА, металлической сетки и торкретбетона с перемещением его от стационарного комплекса до торкретбетонной установки автосамосвалами на расстояние не более 2000 м.

**Таблица 2** – Параметры крепи с использованием СЗА в зависимости от устойчивости горного массива

Характеристика пород и руд по устойчивости	Класс горного массива	Постоянная крепь с применением самозакрепляющегося анкера	
		Вид крепи	Параметры крепи
Весьма устойчивые	I	Не требуется	-
Устойчивые	IIa	Набрызгбетон по кровле	Толщина набрызгбетона 1 см
	IIб	Самозакрепляющиеся анкера по кровле	Сетка штангования 0,9×0,9м. Глубина штангования 2 м.
	IIв	Самозакрепляющиеся анкера по кровле. Набрызгбетон по кровле	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Набрызгбетон слоем 2 см.
Средней устойчивости	IIIa	Самозакрепляющиеся анкера по кровле. Набрызгбетон по кровле.	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Набрызгбетон слоем 2-3 см.
	IIIб	Самозакрепляющиеся анкера по кровле и бокам. Набрызгбетон по кровле и бокам	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Набрызгбетон слоем 2-3 см.
	IIIв	Самозакрепляющиеся анкера по кровле и бокам. Армокаркас по кровле. Набрызгбетон по кровле и бокам.	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Набрызгбетон слоем 3-4 см. Армокаркас 0,9х0,9м
Слабой устойчивости	IVa	Самозакрепляющиеся анкера по кровле и бокам. Армокаркас по кровле. Набрызгбетон по кровле и бокам.	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Армокаркас 0,9х0,9м Набрызгбетон слоем 3-4 см.
	IVб	Самозакрепляющиеся анкера по кровле и бокам. Армокаркас по кровле по кровле и бокам. Набрызгбетон по кровле и бокам.	Сетка штангования 0,9×0,9 м. Глубина штангования 2 м. Армокаркас 0,9х0,9м Набрызгбетон слоем 3-4 см.
Неустойчивые	Va	Самозакрепляющиеся анкера по кровле и бокам. Армокаркас по кровле по кровле. Набрызгбетон по кровле и бокам.	Сетка штангования 0,7×0,7 м. Глубина штангования 2 м. Армокаркас 1,2х1,2м Набрызгбетон слоем 4-5 см.

При обосновании целесообразности применения высокопроизводительных механизированных комплексов крепления выработок набрызгбетоном, в условиях глубоких горизонтов Гайского подземного рудника производился выбор мест расположения бетонорастворного узла (БРУ) для приготовления набрызгбетонной смеси.

Математическая модель решения задачи по определению оптимального расположения БРУ представляется в виде целевой функции, минимизирующей

суммарные затраты на транспортировку готовой смеси для набрызгбетона и ее компонентов

$$F = \sum_1^N (q_{к.с.,i} * p_i) + \sum_i^N (q_{г.с.,i} * p_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

Для решения поставленной задачи была сформирована транспортная сеть, представляющая собой множество элементов двух типов:

- 1) вершины  $i=1.2.3,\dots,N$  транспортной сети, где  $i$  – номер вершины,  $N$  – количество вершин. Каждой вершине соответствует величина потока  $q_i$  ( $q_{к.с.,i}$  – величина потока компонентов смеси,  $q_{г.с.,i}$  – величина потока готовой смеси для набрызгбетона). Положительное значение  $q_i$  соответствует поставщикам потока, отрицательное значение  $q_i$  – потребителям потока;
- 2) дуги  $i, j$  транспортной сети, где  $i$  – номер начальной вершины дуги,  $j$  – номер конечной вершины. Начало и конец дуги определяется направлением движения потока величиной  $q_{i,j}$  по дуге. Каждая дуга транспортной сети характеризуется потенциалом  $p_{i,j}$ . Потенциал дуги  $i,j$  в рамках решаемой задачи определяется:

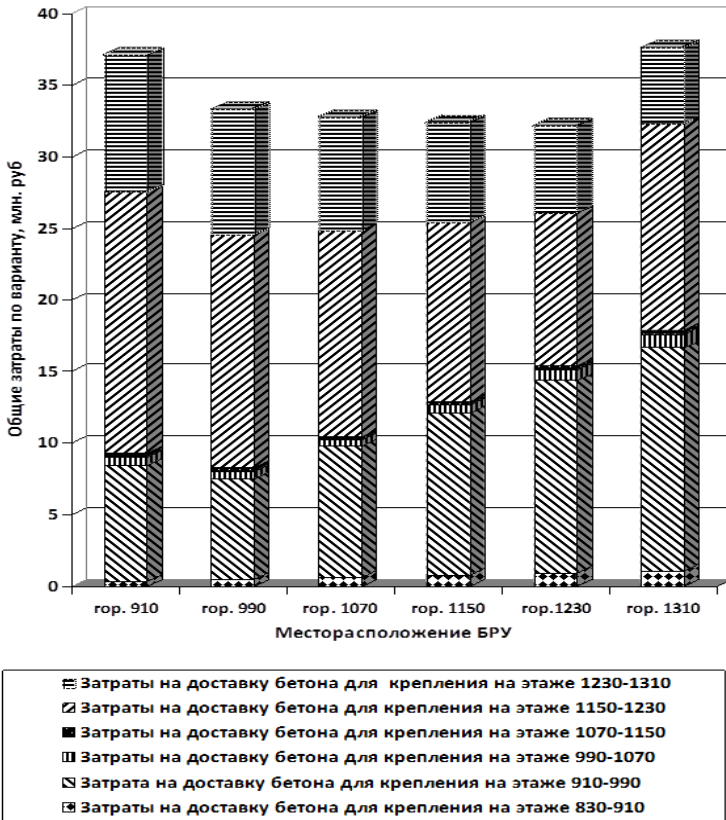
$$p_{i,j} = C_{i,j} + C_j, \quad (2)$$

где  $C_{i,j}$  – затраты на перемещение готовой смеси или ее компонентов по дуге  $i,j$ ;  
 $C_j$  – затраты на перегрузку в вершине  $j$ .

Результаты имитационного экономико-математического моделирования процесса транспортирования бетона и его компонентов для различных вариантов размещения БРУ приведены на рисунке 8.

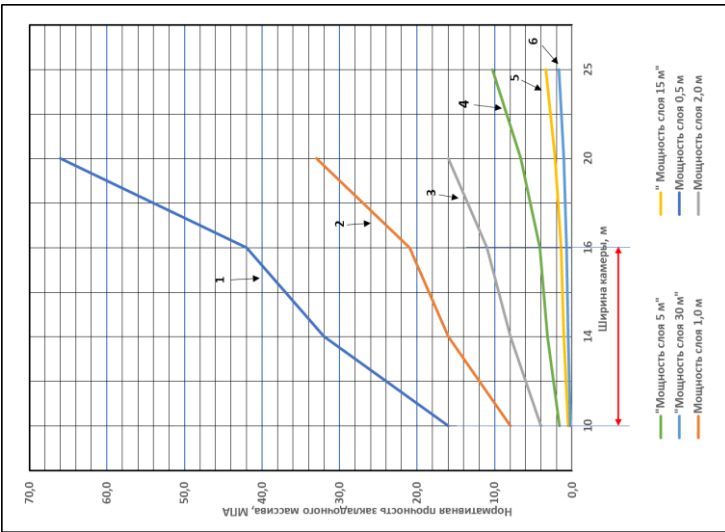
Реализация предложенных технологических решений по совершенствованию видов крепи с применением самозакрепляющих анкеров позволит сократить сроки проходки и крепления подготовительно-нарезных выработок в породах III – IV категорий устойчивости на 33-40%, в породах V устойчивости – на 30%. Реализация разработанной технологии крепления очистных заходок рамами СВП-22, при длине уходки забоя 1 м и усовершенствованной схеме организации работ, обеспечивает сокращение скорости проходки очистных выработок в среднем с 90 до 120 м в месяц при сокращении стоимости крепи за счет перехода с рам СВП-27 на СВП-22 – на 25-30%.

**Затраты на транспортирование смеси для набрызг-бетона за 2014-2024 гг.**

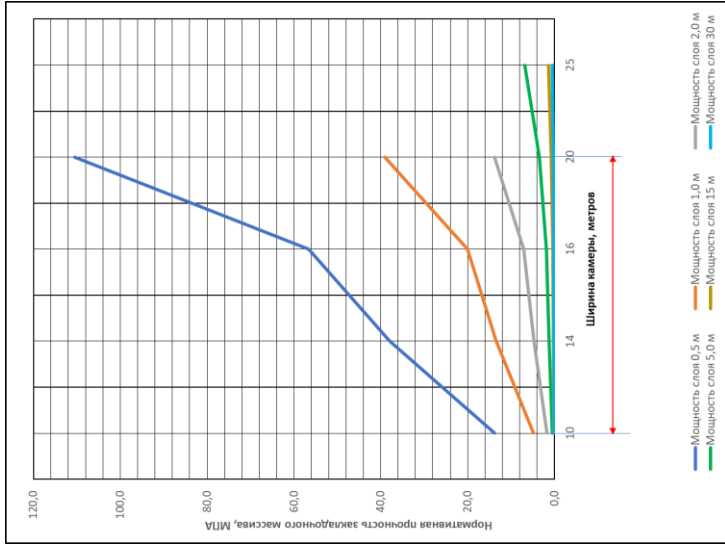


**Рисунок 8** – Затраты на транспортирование готовой смеси для крепления набрызгбетоном для различных вариантов размещения БРУ

Проанализирована зависимость нормативной прочности закладочного массива в кровле вышележащей и заложённой камеры, от ширины камеры (пролета) и от мощности несущего слоя (рис. 9-10). Результаты расчета нормативной прочности закладочного массива по фактору устойчивости, при горизонтальной подработке нижележащими камерами и при вертикальном обнажении смежными камерами, указывают на существенное влияние на нормативную прочность закладочного массива мощности несущих слоев закладочного массива (рис. 11).

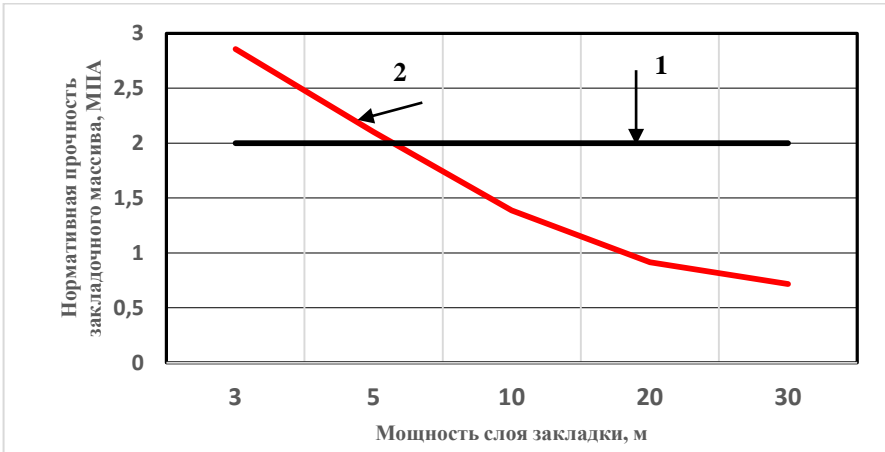


**Рисунок 9** – Влияние пролета камеры на нормативную прочность несущего слоя закладочного массива при его мощности:  
 1 – 0,5 м, 2 – 1 м, 3 – 2 м, 4 – 5 м, 5 – 15 м, 6 – 30 м



**Рисунок 10** – Влияние пролета камер на нормативную прочность закладочного массива на сжатие по фактору подработки при мощности несущего слоя, м:  
 1 – 0,5, 2 – 1, 3 – 2, 4 – 5, 5 – 15, 6 – 30

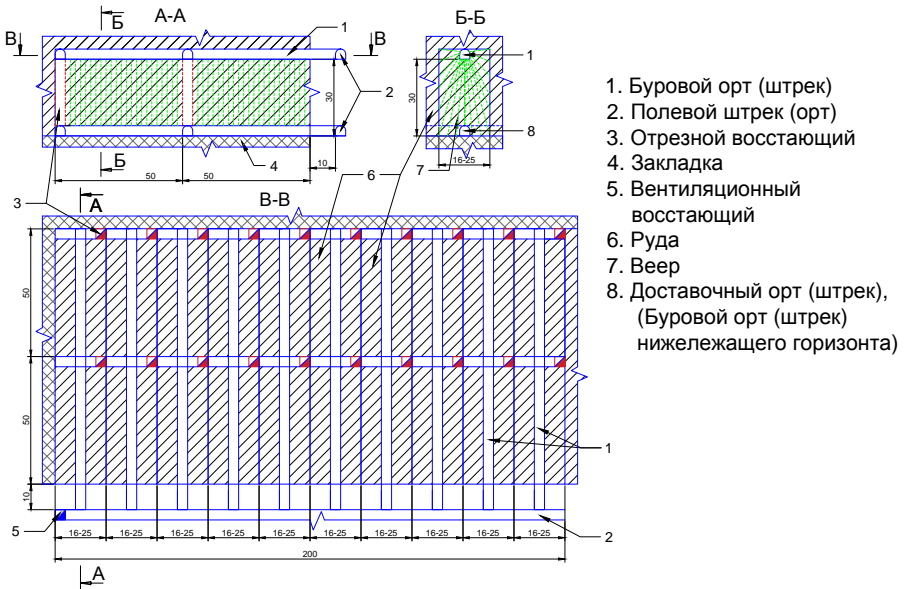




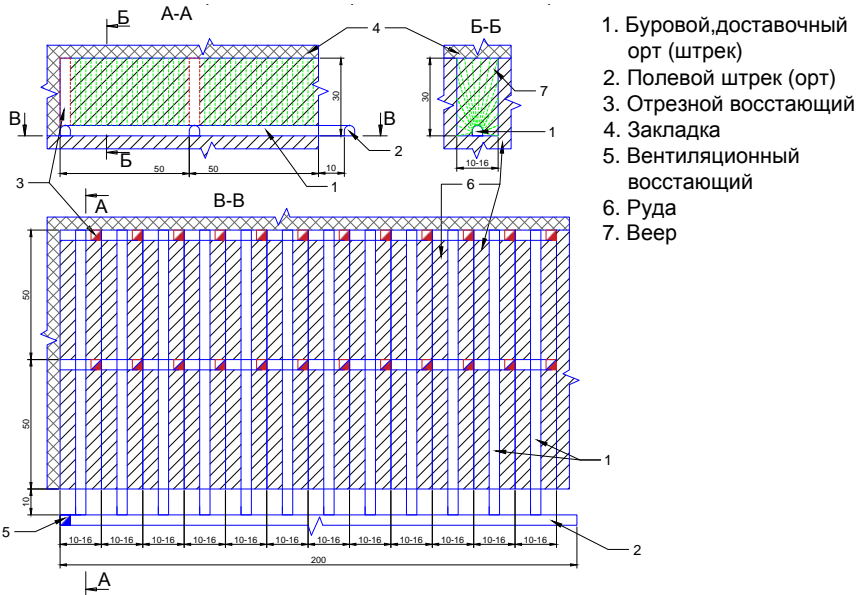
**Рисунок 11** – Влияние мощности упрочненного слоя закладочного массива в стенке камеры по фактору устойчивости вертикальных обнажений:  
1 – принятая по нормативу, 2 – расчетная

Для изоляции пространства в подходящих выработках требуется устанавливать изолирующие бетонные перемычки. Существующие конструкции перемычек не позволяют обеспечить непрерывную подачу закладочной смеси в закладываемое очистное пространство камер. Для создания изотропного (квазиизотропного) неслоистого закладочного массива необходимо оптимизировать конструкции применяемой системы разработки с целью снижения объема и трудоемкости подготовительных работ для производства закладочных работ; разработать конструкцию изолирующей перемычки, возводимой с минимальной трудоемкостью и обеспечивающей непрерывную подачу закладочной смеси для создания изотропного (квазиизотропного) закладочного массива; установить режим работы ПЗК по приготовлению и подаче закладочной смеси 24 часа в сутки, при этом суточная производительность закладочного комплекса должна быть не менее, чем в 1,25 раза выше среднесуточной производительности добычи в объемном выражении; установить дистанционный контроль без присутствия людей за процессом подачи закладочной смеси в очистное пространство камер.

Наиболее благоприятными условиями для создания изотропного (квазиизотропного) закладочного массива, обеспечивающими интенсивность его возведения и, соответственно, интенсификацию горных работ, а также снижение рисков эксплуатации подземного рудника, является применение камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями с восходящим порядком отработки запасов (рис. 12).



**Рисунок 12** – Камерная система разработки с восходящей выемкой



**Рисунок 13** – Камерная система разработки с твердеющей закладкой в усовершенствованном варианте нисходящей выемки запасов

Квазиизотропный закладочный массив, обеспечивающий высокую интенсивность отработки запасов этажа и, соответственно, в целом интенсификацию горных работ, позволяет увеличивать пролет обрабатываемых камер при нисходящем порядке отработки запасов месторождения (рис. 13). Проведенные расчеты показывают, что ширина камер может быть увеличена с 10 метров до 16-20 метров, что повышает интенсивность выемки запасов почти 1,5 раза.

Сравнительная оценка достоинств и недостатков усовершенствованных вариантов камерной системы разработки с восходящим и нисходящим порядком выемки запасов, обеспечивающих повышение интенсивности отработки запасов месторождения, представлена в таблице 3.

Усовершенствованные варианты камерной системы разработки с твердеющей закладкой с восходящим и нисходящим порядком отработки запасов месторождения свидетельствуют о существенном сокращении объемов подготовительно-нарезных работ и возможности повышения интенсивности отработки запасов в 1,2 – 1,5 раза. Применение механизированной технологии возведения бетонных перемычек с применением ускорителей схватывания бетона позволяет не менее, чем в 2 раза сократить время на подготовку камеры к закладке при нисходящем порядке отработки запасов месторождения и уменьшить время на формирование твердеющих перемычек в камерах 1 очереди при восходящем порядке выемки запасов.

Сравнение вариантов отработки запасов камерными системами с закладкой свидетельствует о наличии существенных преимуществ у восходящего порядка отработки месторождений. Однако, наличие недостатков у того и другого варианта выемке запасов позволяет определить область их предпочтительного применения в различных горно-геологических и геомеханических условиях. На выбор вариантов системы разработки существенное влияние оказывает продолжительность и скорость проведения подготовительно-нарезных выработок, формирования и твердения закладочного массива несущих перемычек, несущего нижнего слоя закладочного массива при нисходящем порядке отработке запасов и верхнего слоя при восходящем.

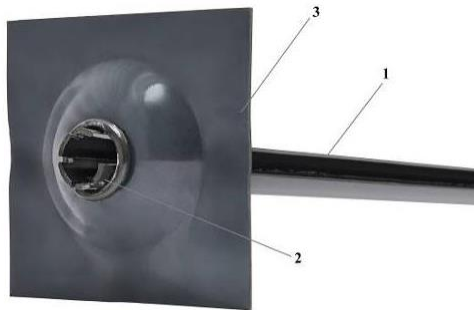
Создание изотропного (квазиизотропного) закладочного массива позволяет значительно снизить нормативную прочность закладочного массива при заданных параметрах камерных систем разработки, увеличить параметры камерных систем разработки при использовании существующих составов закладочной смеси, в короткие сроки получить нормативную прочность закладочного массива, что позволит ускорить ввод в отработку смежных камер и, соответственно, интенсифицировать горные работы и снизить риски эксплуатации подземного рудника.

Таблица 3 – Сравнительная оценка восходящего и нисходящего порядков отработки месторождения

Восходящий порядок отработки месторождения		Нисходящий порядок отработки	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> <li>– безопасные условия выполнения производственных процессов;</li> <li>– проходка нарезных выработок;</li> <li>– отгрузка горной массы из очистного пространства камер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вскрытие запасов нижних горизонтов требует больших инвестиционных затрат и увеличения времени ввода</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– меньшие сроки вовлечения в отработку запасов месторождения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– более высокий риск при реализации производственных процессов очистной выемки;</li> <li>– отсутствие крепления кровли очистного пространства и контроля за ее состоянием в ходе очистной выемки</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– меньший объем проходки нарезных выработок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дополнительный объем работ по креплению кровли очистного пространства камеры;</li> <li>– снижение рисков извлечение запасов очистного пространства камер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– контролируемая устойчивость кровля за счет формирования несущей потолочины требуемой нормативной прочности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность крепления кровли очистного пространства камер после дополнительной нарезной проходки выработки в сложных горнотехнических условиях</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность увеличения ширины камеры за счет крепления кровли очистного пространства камеры</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– засорение элементами крепи рудной массы в процессе отбойки и отгрузки руды из очистного пространства камеры</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при отработке запасов в скальных и полускальных слабо трещиноватых породах достаточная устойчивость кровли камер позволяет её не крепить</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенные требования к нормативной прочности закладочного массива, обнажаемого при отработке нижележащих камер;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность снижения нормативной прочности закладочного массива в камерах II и III очереди</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– необходимость обеспечения несущего слоя в верхней части закладочного массива, нормативная прочность которого определяется по фактору перемещения самоходного оборудования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность использования откаточных выработок вышележащего горизонта в качестве вентиляционных выработок при отработке нижележащего горизонта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зависимость ширины очистного пространства камер от нормативной прочности закладочного массива вышележащих камер, обнажаемого при отработке нижележащих камер</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность отказа от выдачи породы с проходки горных выработок на поверхность с размещением ее в закладываемых камерах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– необходимость производства очистных работ в ослабленном при подработке нижележащих запасов массиве горных пород</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при переходе на нижележащий горизонт горные работы развиваются в не ослабленном подработкой горном массиве</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сложность размещения породы с проходки горных выработок в закладываемые камеры</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– увеличение ширины камер в скальных и полускальных нетрещиноватых породах и, как следствие, снижение удельного объема подготовительно-нарезных работ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сложности работы погрузо-доставочной техники при неполном заполнении отработанных камер закладочным материалом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– возможность доработки руды, оставленной в целиках, охраняющих выработки выпуска, при извлечении запасов нижележащих горизонтов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при камерной системе разработки при подготовке камеры к закладке между заездами остаются рудные откосы, извлечение которых ослабляет закладочный массив, что негативно сказывается при отработке нижележащих запасов в части безопасности и разубоживания рудного массива</li> </ul>

В четвертой главе диссертации приведены результаты опытно-промышленных испытаний технологии возведения, несущей способности и ремонтпригодности анкерной крепи.

Самозакрепляющаяся анкерная крепь представляет собой систему металлического трубчатого стержня-анкера, опорной плиты и цилиндрической втулки, размещаемых в пробуренных по периметру выработки шпурах и закрепляющихся за счет упругих свойств металла в толще пород. Анкеры, работая на растяжение, удерживают анкеруемые породы от расслоения, сдвижения и обрушения. Распорная анкерная крепь по характеру взаимодействия с породами представляет собой полый армирующий элемент с закреплением по всей длине шпура (рис. 14).



**Рисунок 14** – Конструкция анкера СА: 1 — стержень анкера; 2 — комбинированный опорный узел; 3 — опорная плита

Несущая способность самозакрепляющегося анкера складывается из трех силовых составляющих:

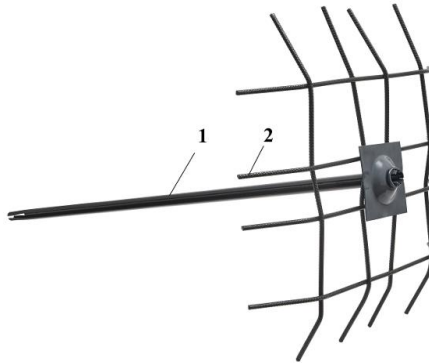
$$F = F_{\text{трп}} + F_c + F_B, \quad (3)$$

где  $F_{\text{трп}}$  - силы трения, обусловленные деформацией стенок анкера в поперечной плоскости, Н;  $F_c$  - силы сопротивления движению головной части, Н;  $F_B$  - силы, вызванные упругой деформацией анкера в продольном направлении, Н.

Проведенные исследования показали, что применение самозакрепляющейся анкерной крепи позволяет увеличить сетку штангования с  $0,7 \times 0,7 \text{ м}^2$ , при применении железобетонных штанг, до  $0,9 \times 0,9 \text{ м}^2$ , за счет наличия опорной плиты, размером  $0,2 \times 0,2 \text{ м}^2$  и роста несущей способности. Данное увеличение сетки штангования снижает объем бурения шпуров для крепления и, соответственно, время на возведение крепи. Промышленные исследования несущей способности самозакрепляющихся анкеров показали, что они обладают высокой несущей способностью ( $>7 \text{ т}$ ) и обеспечивают качественное закрепление горного массива.

В местах интенсивного вывалообразования и в малоустойчивых породах рекомендуется использовать усиленную комбинированную крепь, которая может применяться совместно с армокаркасом и подвешиваемой поверх слоя набрызгбетона металлической сеткой. Конструкция крепи также покрывается слоем набрызгбетона (рис. 15).

Усиленная комбинированная крепь представляет собой систему самозакрепляющегося анкера, армокаркаса и набрызгбетона. Армокаркас представляет собой прямоугольную сетку из переплетенных арматурных стержней, диаметром 12÷14 мм, из стали периодического профиля согласно ГОСТ 5781-82, расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях, соединенных в местах пересечения сваркой по ГОСТ 10922-90. Размер ячейки сетки изменяется от 100x100 до 200x250 мм. Ширина центральной ячейки армокаркаса принимается около 1,3 ширины опорной плиты (рис. 15).

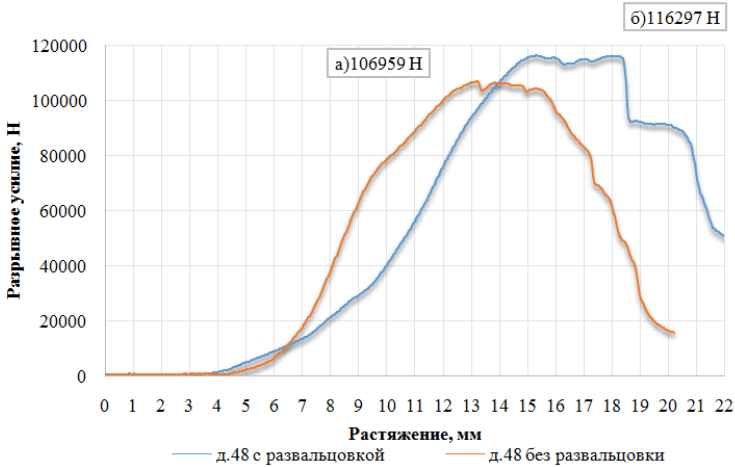


**Рисунок 15** – Общий вид СЗА-армокрепь:  
1 — стержень анкера СЗА; 2 — армокаркас

Армокаркас нанизывается на стержень анкера и устанавливается одновременно с введением анкера в шпур, прижимаясь к контуру выработки опорной плитой.

Совершенствование конструкций анкерной крепи, способов ее закрепления в несущем замке, создание опорного узла в основании, комбинация с металлической сеткой, опорными плитами позволяют существенно сократить время на возведение и поддержание крепи, повысить устойчивость горных выработок и срок их эксплуатации. При этом следует учитывать, что выбор конструкции и несущей способности крепи должен производиться с учетом физико-механических характеристик, структурных особенностей горных пород и требуемого срока эксплуатации горной выработки.

В результате проведенных испытаний элементов анкерной крепи СЗА (рис. 16) установлено, что разрушение целостности элементов опорного узла с развальцовкой и без развальцовки произошло в диапазоне разрывных усилий от 106 кН до 120 кН.



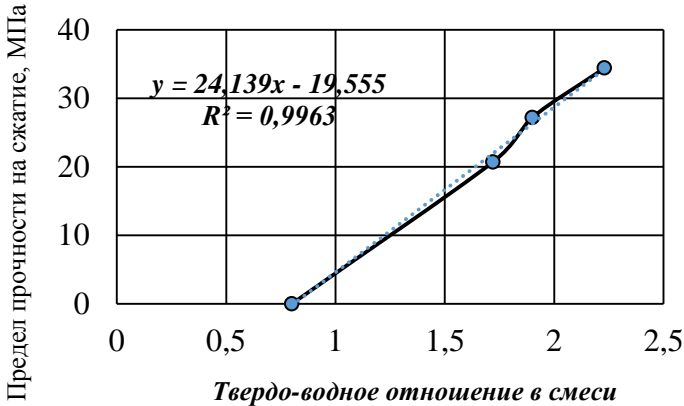
**Рисунок 16** – Диаграмма деформирования опорного узла СЗА:  
а) без развальцовки; б) с развальцовкой

При этом несущая способность опорного узла СЗА, как с развальцовкой, так и без развальцовки, соответствует требованиям ГОСТа 31559–2012, по которому несущая способность упора для опорной шайбы должна быть не менее 0,75 разрывного усилия стержня анкера. Величина разрывных усилий образцов с развальцовкой превышает значения разрывных усилий образцов без развальцовки в среднем на 25 - 30 %. По результатам проведенных испытаний сварные швы всех представленных образцов сохранили свою сплошность. Разрывы, трещины, растянувшиеся участки не обнаружены. Разрушение всех элементов опорного узла происходило по металлу СЗА перед сварным швом.

Испытания сроков схватывания различных составов торкретбетонной смеси показали, что при различных соотношениях водо-твердого, конец схватывания изменяется от 6 до 13 мин, уменьшение соотношения в/т до 0,17 позволяет сократить время схватывания смеси более, чем в 2 раза. Поэтому для четкого фиксирования расхода воды в шахтных условиях рекомендуется в водную магистраль врезать расходомер.

В результате проведенных испытаний предел прочности при сжатии образца на 28 сутки составил 34,4 МПа, что соответствует бетону В25, а это, в свою

очередь, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к торкретбетонам, определенным ВСН 126-90 (рис. 17).



**Рисунок 17** – Зависимость предела прочности на сжатие торкретбетонной смеси от твердо-водного отношения

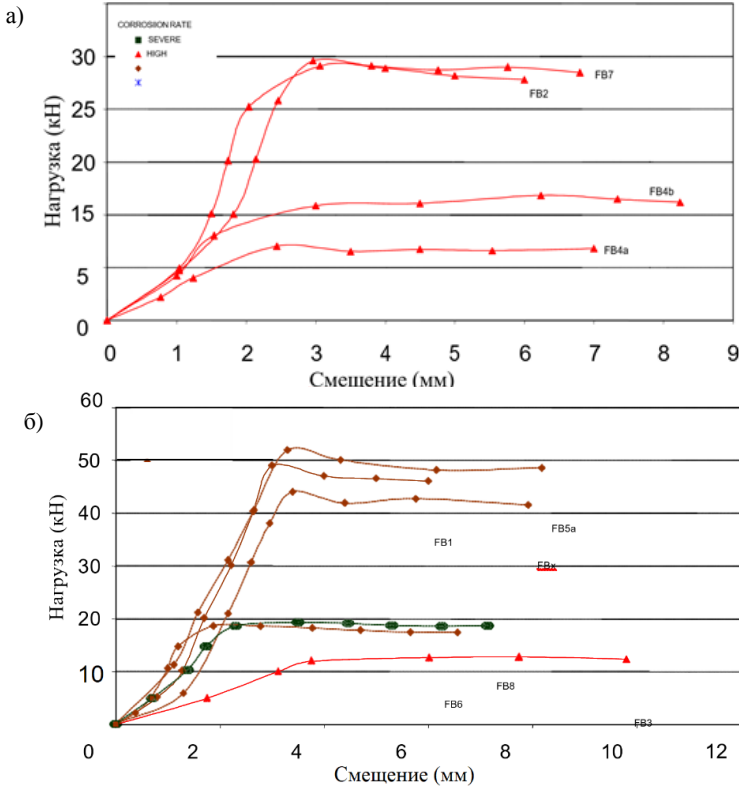
Анализ графика показал, что прочностные показатели торкретсмеси класса В25 составляют 32,7 МПа и достигаются при  $T/V=2,2$ , или  $V/T=0,17$ . Для получения класса В22,5 с прочностью 29,4 МПа необходимо  $T/V$ , равное 2,0, или  $V/T=0,19$ .

Таким образом, при «сухом» методе торкретирования с использованием готовых смесей, содержащих ускорители твердения, значительное влияние на свойства готового торкрет-бетона оказывает количество подаваемой воды. Данный факт подтвердили результаты промышленных исследований. Также качество торкрет-бетона в промышленных условиях будет зависеть от квалификации крепильщика, который в процессе подачи смеси регулирует количество воды. При этом следует учитывать, что сокращение  $V/T$  в смеси оказывает существенное влияние на продолжительность набора прочности торкретбетонной крепи, а следовательно, и на скорость проходки выработок. Установленные зависимости прочности от времени твердения и соотношения  $T/V$  следует учитывать при обосновании состава смеси.

Выполнены исследования коррозионной стойкости и ремонтпригодности крепи с учетом типа внешнего покрытия. Проведенные исследования по изучению воздействия шахтных вод на анкеры СЗА, со сроком эксплуатации от 4 до 10 лет без защитного покрытия, показали, что в местах прямого контакта анкера и шахтной воды металл полностью корродирован. При этом скорость коррозии со временем снижается, вследствие увеличения слоя ржавчины. Таким образом, для горно-капитальных выработок толщина стенок анкера СЗА без защитного покрытия должна быть не менее 10 мм, что невозможно по ряду

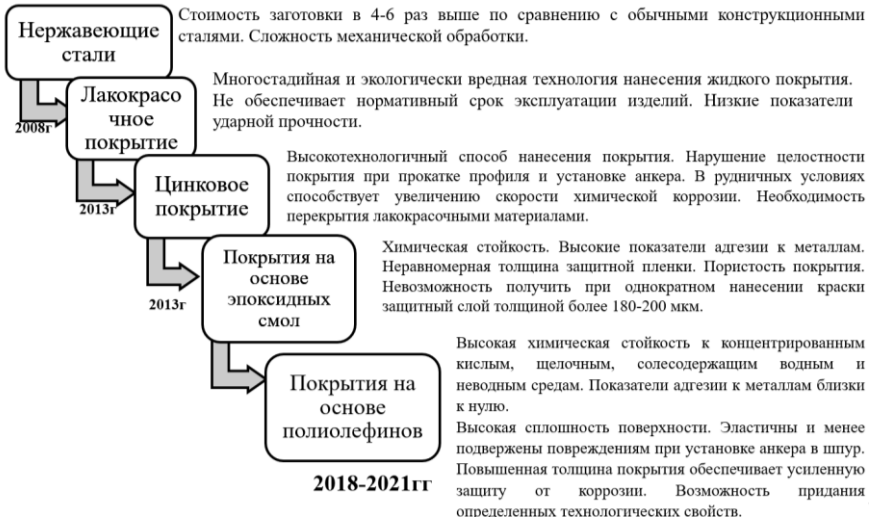


экономических и технологических причин. На рисунке 18 показаны зависимости нагрузки от величины смещения для длины погружения от 250 до 300 мм и от 400 до 500 мм, соответственно. Анализ результатов испытаний подтверждает потерю несущей способности из-за коррозии с умеренно корродированными элементами, обычно имеющими вдвое большую несущую способность, чем не корродированные аналоги.



**Рисунок 18** – Зависимости нагрузки при растяжении фрикционного анкера: а – диаметром 48 мм при длине заделки 250-300 мм; б - диаметром 47 мм при длине заделки 400-500 мм

Масштабные исследования, проведенные в течение нескольких лет в реальных подземных условиях на более чем десяти горных предприятиях страны по схеме, представленной на рисунке 19, показали, что только покрытия из порошковых красок на основе эпоксидной и эпоксидно-полиэфирной смол, а также из полимерных материалов способны обеспечить нормативный 10-летний срок службы крепи.



**Рисунок 19** – Виды покрытия анкеров и последовательность изучения способов защиты стальных конструкций от коррозии.

Как показали результаты исследований коррозионной стойкости защитных покрытий в камерах искусственного старения, потеря массы металла образцов в общей сложности не превысила 1%.

*В пятой главе* диссертации выполнена оценка интенсивности горных работ и снижения рисков при разработке рудных месторождений системами с закладкой выработанного пространства при становлении нового технологического уклада.

Выполнена оценка влияния оптимизации конструктивных элементов применяемой системы разработки, интенсификации закладочных работ на продолжительность выполняемых процессов горных работ и на производительность камерных систем разработки по пяти вариантам:

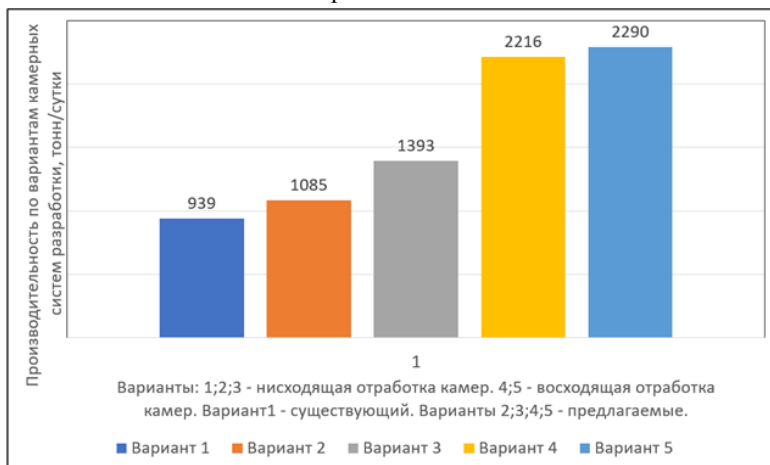
1. Наиболее распространенный вариант с нисходящей отработкой запасов камерами с твердеющей закладкой при ширине камер 10 метров.
2. Усовершенствованный вариант с нисходящей отработкой запасов камерами с шириной также 10 метров.
3. Усовершенствованный вариант с нисходящей отработкой запасов камерами, но уже при ширине камер 16 метров.
4. Усовершенствованный вариант с восходящим порядком отработки запасов камерами, шириной 20 метров.
5. Вариант системы разработки в восходящем порядке с шириной камер 25 м

Для оценки вышеописанных четырех усовершенствованных вариантов системы разработки в сравнении с традиционным вариантом № 1, при нисходящем

порядке выемки запасов, сопоставлены циклограммы работ, в которых показана общая продолжительность извлечения запасов (71 сут.) и отработки камеры с учетом твердения закладочного массива – 131 сут. В соответствии с этим производительность камеры в этом варианте системы разработки составляет 939 тонн в сутки. При этом время непосредственно работ по извлечению запасов из камеры составляет 71 день, а с учетом ожидания твердения закладочной смеси и набора нормативной прочности закладочным массивом – 131 день.

Анализ календарных планов отработки запасов месторождения свидетельствует о значительном резерве роста интенсивности горных работ.

Оценены затраты времени применения традиционной и рекомендуемой технологии в условиях разработки медно-колчеданного месторождения Озерное. Рассмотрены характеристики рудопотоков при сравнении восходящего и нисходящего порядков отработки месторождения. Выявлены процессы, сдерживающие рост интенсивности горных работ, и факторы, обуславливающие отставание. Для сравнения рассмотрены различные схемы раскройки залежи в горизонтальной плоскости и по вертикали.



**Рисунок 20** – Производительность камерных систем разработок по вариантам 1 – 5

Выполненные расчеты продолжительности выполнения основных и вспомогательных технологических процессов, производительности по отработке запасов месторождения Озерное, легли в основу оценки экономической эффективности и рисков разработанных технологических решений.

Проведенные расчеты показали, что при восходящем порядке ширина камер может быть увеличена с 10 метров до 16-25 метров, что повышает интен-

сивность выемки запасов в 1,5 раза и более.

Сравнение производительности закладочных работ по традиционному варианту и предлагаемым с восходящим и нисходящим порядком отработки свидетельствует о возможностях роста производительности, соответственно, в 2 и 4,7 раза.

Интенсификация закладочных работ достигается:

- оптимизацией конструктивных элементов системы разработки с целью снижения объемов и трудоемкости подготовительных работ для производства закладочных работ;
- созданием квазиизотропного закладочного массива;
- внедрением новых концептуальных подходов к конструкции изолирующих закладочных перемычек;
- применением современных вяжущих, новых способов возведения гидроизолирующих перемычек и несущих конструкций с применением высокопроизводительного оборудования.

При определении параметров перемычки, построении циклограмм с учетом условий твердения, графиков набора нормативной прочности использованы ранее представленные закономерности и требования к формированию нормативной прочности закладочных массивов в конструктивных элементах различных вариантов систем разработки.

*В шестой главе* диссертации выполнена технико-экономическая оценка и представлены рекомендации по снижению риска аварий на объектах ведения подземных горных работ на медно-колчеданных месторождениях.

Произведена оценка экономической эффективности внедрения разработанных вариантов систем разработки камерами с твердеющей закладкой при восходящем и нисходящем порядке отработки запасов месторождения с изменяющейся шириной камер 10, 16 и 25 м, с обоснованием возможности совмещения работ в смежных камерах одного горизонта и в смежных подэтажах, показана предпочтительность выемки запасов в восходящем порядке камерами, шириной 25 м, с совмещением работ в смежных подэтажах. При этом производительность отработки запасов камер увеличивается в 2,43 раза, а расчетный экономический эффект составляет 1395 млн. руб. в год.

Проведена идентификация опасностей по объектам исследований, сгруппированных по типу гипотетически возможных аварий – связанных с видом применяемых крепей и условиями ведения закладочных работ. Показано, что внедрение комплекса инновационных технологических решений позволяет снизить уровень риска практически на порядок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации обоснована совокупность научно-технических решений по определению условий и параметров перехода подземного рудника к новому технологическому укладу в сложных горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях с обеспечением интенсификации горных работ для повышения эффективности и снижения рисков функционирования горно-технических систем, что имеет важное социально-экономическое значение для развития горнодобывающей промышленности России.

**Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:**

1. Интенсификация горных работ и снижение рисков эксплуатации рудного месторождения в сложных горно-геологических, геомеханических и горнотехнических условиях системами разработки с твердеющей закладкой возможна только на основе перехода подземного рудника к новому технологическому укладу, предусматривающему гармоничное и синхронное развитие основных и вспомогательных геотехнологических процессов.

2. Выявление сдерживающих интенсификацию горных работ факторов и устранение их влияния путем совершенствования и синхронизации продолжительности основных и вспомогательных геотехнологических процессов и определения рационального направления и порядка отработки месторождения позволяют интенсифицировать ведение горных работ и снизить риски проявления опасных событий.

3. Анализ инновационных технических решений в области совершенствования конструкций анкерных крепей показал, что только использование комплексного подхода к обоснованию конструкций и технологии возведения крепей обеспечивает существенное сокращение времени, затрачиваемого на подготовительно-нарезные работы, и, соответственно, продолжительности освоения выемочных мощностей. На основе выполненных расчетов определены условия наиболее интенсивного выполнения работ по проходке и креплению горных выработок на больших глубинах: применение усиленной комбинированной крепи на основе СЗА, металлической сетки и торкрет-бетона с перемещением его от стационарного комплекса до торкрет-бетонной установки автосамосвалами на расстояние не более 2000 м.

4. Установлено, что применение усовершенствованных конструкций фрикционного анкера совместно с армокаркасом, позволяет отказаться от опыта укрепления поверхностей с использованием металлической сетки. Эффективным подходом является также укрепление вмещающего массива тампонажем. Разработана методика расчета несущей способности и параметров самозакрепляющейся анкерной крепи различной модификации в сочетании с усиливающими элементами в специфических горно-геологических, геомеханических и горно-

технических условиях, отличающаяся учетом способа и характера закрепления анкера в замке и силового воздействия дополнительных несущих элементов.

5. Повышение интенсивности и снижение рисков ведения горных работ системами разработки с твердеющей закладкой обеспечивается выбором приоритетной схемы их развития на выемочном участке и в выемочных единицах с максимальным совмещением технологических процессов в смежных камерах и достижением сбалансированности продолжительности процессов извлечения и воспроизводства запасов, при синхронизации интенсивности смежных процессов и сокращении межпроцессных пауз.

6. Формирование изолирующих перемычек безопалубочным методом с отказом от цикличности процесса позволяет формировать несущий слой закладочного массива на всю высоту, исключая его слоистость и обеспечивая увеличение скорости подготовки камеры к закладке более, чем в 2 раза.

7. Сопоставление усовершенствованных вариантов камерной системы разработки с нисходящим и восходящим порядком освоения запасов месторождений, отличающихся тем, что в них отсутствуют боковые заезды в камеры, по сравнению с базовым вариантом показало существенное сокращение удельного объема подготовительно-нарезных работ в 2,37 раза в варианте нисходящей отработкой месторождения и в 3,55 раза – при восходящей выемке запасов.

8. Переход в усовершенствованном варианте камерной системы разработки с твердеющей закладкой с нисходящего на восходящий порядок выемки запасов месторождения позволяет сократить продолжительность отработки блока не менее, чем в 2 раза; при этом снижение требований к нормативной прочности закладочной смеси обеспечивает экономию затрат на формирование закладочного массива на 25 – 50%.

9. Предложенный концептуальный подход к повышению интенсивности отработки запасов рудного месторождения системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства при переходе к новому технологическому укладу, базирующийся на гармоничном совершенствовании основных и вспомогательных геотехнологических процессов, сдерживающих рост интенсивности горных работ, способен обеспечить рост производственной мощности рудника не менее, чем в 2 раза.

10. Анализ опасностей и оценка уровня риска возникновения и развития аварий на объектах ведения подземных горных работ на медно-колчеданных месторождениях Урала, идентификация опасностей по объектам исследований, сгруппированных по типу гипотетически возможных аварий, связанных с видом применяемых крепей и условиями ведения закладочных работ, показали, что внедрение комплекса предлагаемых инновационных технологических решений позволяет снизить уровень риска практически на порядок.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:  
В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и входящих  
в международные реферативные базы данных и системы цитирования:**

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

2. Разработка технологии подготовки карьеров к складированию хвостов обогащения / О.В. Зотеев, А.А. Зубков, В.Н. Калмыков, И.М. Кутлубаев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 9. – С. 109-114.

3. Совершенствование конструкции и технологии установки крепей с фрикционным закреплением / А.А. Зубков, А.В. Зубков, И.М. Кутлубаев, В.В. Латкин // Горный журнал. – 2016. – № 5. – С. 48-52.

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

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

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

7. Technology for fixing mine workings by spraying concrete in the conditions of the Ural mines / A.A. Zubkov, P.V. Volkov, R.V. Kulsaitov, A.M. Magitov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience». – 2020. – С. 052059.

8. Justification of the technology of construction of mine shafts for the conditions of the maly kuibas deposit / V.N. Kalmykov, A.A. Zubkov, P.V. Volkov, R.V. Kulsaitov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. International Science and Technology Conference «Earth Science», ISTC EarthScience 2022 - Chapter 1. – 2022. – С. 022014.

9. Analysis and Generalization of Experience in the Application of Technologies for Supporting Mine Workings in Difficult Mining and Geological Conditions / V.N. Kalmykov, A.A. Zubkov, P.V. Volkov, S.A. Korneev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 988. – 2022. – 022024.

10. Исследование физико-механических свойств отходов обогащения для разработки технологии формирования закладочного массива в выработанном

пространстве карьера «Учалинский» / О.В. Зотеев, В.Н. Калмыков, А.А. Гоготин, Ан.А. Зубков, Ар.А. Зубков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2013. – № 4 (44). – С. 13-17.

11. Опытнo-промышленные испытания технологии закладки выработанного пространства Учалинского карьера отходами обогатительного передела / В.Н. Калмыков, О.В. Зотеев, Ан.А. Зубков, А.А. Гоготин, Ар.А. Зубков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 7. – С. 4-8.

12. Трубкин, И.С. Закладочные смеси для горных выработок с применением конвертерных шлаков ММК и хвостов обогащения медно-серных руд / И.С. Трубкин, А.А. Зубков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 3 (19). – С. 12-14.

13. Зубков, А.А. К вопросу совершенствования применения камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства / А.А. Зубков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 2 (22). – С. 23-27.

14. Калмыков, В.Н. К вопросу повышения интенсивности отработки месторождений системами с закладкой выработанного пространства / В.Н. Калмыков, А.А. Зубков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 1 (17). – С. 28-31.

#### **Монография**

15. Зубков А.А., Пыталев И.А., Козловский А.А., Мельников И.И. Формирование и освоение техногенных георесурсов // Технологические схемы размещения промышленных отходов в карьерах и отвалах: монография. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 176с.

#### **Учебное пособие**

16. Технология подземной разработки руд в сложных условиях: Учебное пособие / Э.Ю. Мещеряков, А.Н. Угрюмов, А.А. Зубков, Р.Ш. Маннанов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2009. – 78 с.

#### **В прочих изданиях:**

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

18. Совершенствование фрикционной анкерной крепи с целью снижения рисков при ее эксплуатации в сложных горно-геологических условиях / К.А. Аверьянов, А.А. Зубков, П.В. Волков, И.М. Кутлубаев // Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. – С. 142-143.



19. Волков, П.В., Промышленные испытания инновационных покрытий для защиты анкерной крепи / П.В. Волков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков // Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. Материалы докладов Международной конференции: сборник тезисов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – С. 143-144.

20. Зубков, А.А. О результатах испытаний технологии крепления неустойчивых пород подземных горных выработок комбинированными крепями / Зубков А.А., С.С. Неугомонов, П.В. Волков // Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья: материалы международной научно-практической конференции, приуроченной к 90-летию со дня основания института. – Екатеринбург. Изд-во «Уралмеханобр». 2019. – С. 83-85.

21. Методика расчета несущей способности анкера фрикционного типа / Зубков А.А., Калмыков В.Н., Кутлубаев И.М., Мухамедьярова М.С. // Комбинированная геотехнология: ресурсосбережение и энергоэффективность: материалы IX международной конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 153-155.

22. Оценка эффективности применения механизированных комплексов мокрого набрызгбетонирования в условиях строительства глубоких горизонтов Гайского подземного рудника / В.Н. Калмыков, П.В. Волков, А.А. Зубков, А.В. Красавин, Г.В. Михайлова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 26-33.

23. Волков, П.В. Новые технические решения в области крепления горных выработок / П.В. Волков, А.А. Зубков, Г.Р. Волкова // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы XIV Международной конференции. – Москва: Изд-во Российского университета дружбы народов (РУДН), 2015. – С. 131-133.

24. Основы расчета самозакрепляющихся анкеров трубчатого типа / И.Г. Жиденко, А.А. Зубков, И.М. Кутлубаев, И.И. Мельников, М.С. Мухамедьярова // Необратимые процессы в природе и технике: труды Восьмой Всероссийской конференции. – Москва: Изд-во Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, 2015. – С. 225-227.

25. Применение композитных материалов для крепления горных выработок механизированным способом / В.Н. Калмыков, С.С. Неугомонов, А.А. Зубков, Е.И. Пушкарев, П.В. Волков // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов I международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. – С. 72-74.

26. Разработка ресурсосберегающих технологий закладки выработанного пространства / В.Н. Калмыков, И.С. Белобородов, Э.Ю. Мещеряков, А.А. Зубков, А.Е. Богатченко // Проблемы и перспективы развития подземной геотехнологии: материалы международной научной конференции. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – С. 28-30.

27. Технология инъекционной закладки в условиях отработки месторожде-

ний крайнего севера / В.Н., Калмыков А.А. Зубков, А.Н. Монтянова М.Г., Сулейманов, А.С. Юлин. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 65-й научно-технической конференции: сб. докл.– Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2007. С. 162-164.

28. Калмыков, В.Н. Обоснование возможности применения сгущённых отходов обогащительного передела для закладки Учалинского карьера В.Н. / Калмыков, А.А. Зубков, А.А. Гоготин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – Т. 1. – № 70. – С. 100-102.

29. Зубков А.А. Формирование отрезных щелей при сплошном порядке отработки камерной системой с твердеющей закладкой / Зубков А.Е., Зубков А.А. // Уральская декада-2006: материалы молодежной научно-практической конференции. - Екатеринбург: УГГУ, 2006. – С. 30.

30. Зубков, А.А. Изыскание составов твердеющей закладки для утилизации отходов промышленного производства / А.А. Зубков, А.Е. Богатченко // Уральская декада-2006: материалы молодежной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УГГУ, 2006. – С. 31.

31. Зубков, А.А. Использование закладочной смеси для утилизации отходов промышленного производства / А.А. Зубков, А.Е. Богатченко // Совершенствование технологий поиска и разведки, добычи и переработки полезных ископаемых: материалы всероссийской научно-технической конференции. – Красноярск: Изд-во КГАЦМиЗ, 2006. – С. 49.

32. Зубков А.А. Изыскание составов твердеющей закладки для утилизации отходов промышленного производства / Зубков А.А., Богатченко А.Е. // Уральская декада-2006: материалы молодежной научно-практической конференции. - Екатеринбург: УГГУ, 2006. – С. 112.

33. Зубков А.А. Направления интенсификации освоения месторождений цветных руд системами разработки с твердеющей закладкой / Калмыков В.Н., Зубков А.А., Девятков Д.Х. // Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения: материалы международной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2006. – С. 70-72.

#### ***В патентах РФ:***

34. Патент РФ на полезную модель №192057 U1. Секция анкерной крепи / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 25.01.2019 № 2019102110; опубл. 02.09.2019.

35. Патент РФ на полезную модель №161817 U1. Усиленная анкерная крепь / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, М.С. Мухамедьярова // Заявл. 01.12.2015 № 2015151609/03; опубл. 10.05.2016.

36. Патент РФ на полезную модель № 158225 U1. Опорная шайба анкерной крепи / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 04.06.2015 № 2015121436/03; опубл. 27.12.2015.

37. Патент РФ на полезную модель № 158226 U1. Секция анкерной крепи / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, М.С. Мухамедьярова // Заявл. 06.05.2015

№ 2015117372/03; опубл. 27.12.2015.

38. Патент РФ на полезную модель № 143204 U1. Инъекционный анкер / А.А. Зубков // Заявл. 03.02.2014 № 2014103645/03; опубл. 20.07.2014.

39. Патент РФ на полезную модель № 163469. Центратор / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 13.11.2015 № 2015148976; опубл. 01.07.2016.

40. Патент РФ на полезную модель № 167221. Устройство для установки трубчатых анкеров / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 28.07.2016 № 2016131262; опубл. 08.12.2016.

41. Патент РФ на полезную модель № 161881. Анкерная крепь / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 30.09.2015 № 2015141740; опубл. 19.04.2016.

42. Патент РФ на изобретение № 2569100. Способ складирования зернистых отходов / В.Н. Калмыков, А.А. Зубков, О.В. Зотеев, А.Е. Зубков, Е.В. Григорьев // Заявл. 25.07.2014 № 2014130976; опубл. 26.10.2015.

43. Патент РФ на полезную модель №168801. Усиленная самозакрепляющаяся анкерная крепь / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, Ю.И. Жданова // Заявл. 25.08.2016 № 2016134870; опубл. 21.02.2017.

44. Евразийский патент на изобретение №031612. Самозакрепляющаяся анкерная крепь / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, Ю.И. Жданова // Заявл. 24.04.2017 № 201700176; опубл. 31.01.2019.

45. Патент РФ на полезную модель №197962. Армирующая сетка анкерной крепи / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 30.12.2019 № 2019145534; опубл. 09.06.2020.

46. Патент РФ на полезную модель №201514. Фрикционный анкер / А.А. Зубков, И.М. Кутлубаев // Заявл. 21.07.2020 № 2020125314; опубл. 18.12.2020.

47. Патент РФ на полезную модель №202431. Анкер с фрикционным закреплением / А.А. Зубков, И.М. Кутлубаев // Заявл. 15.09.2020 № 2020130443; опубл. 17.02.2021.

48. Патент РФ на изобретение №2674038. Трубчатый анкер / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, И.М. Кутлубаев // Заявл. 27.07.2017 № 2017122772; опубл. 04.12.2018.

49. Патент РФ на изобретение №2668953. Способ определения несущей способности трубчатого анкера и установка для его реализации / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, И.М. Кутлубаев, Ю.И. Жданова // Заявл. 01.08.2017 № 2017127646; опубл. 05.10.2018.176082

50. Патент РФ на полезную модель №176082. Переходное устройство для определения несущей способности трубчатого анкера / А.А. Зубков, А.Е. Зубков, И.М. Кутлубаев, Ю.И. Жданова // Заявл. 31.07.2017 № 2017127412; опубл. 27.12.2017.

51. Патент РФ на полезную модель №192219. анкер / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 16.04.2019 № 2019111620; опубл. 06.09.2019.

52. Патент РФ на полезную модель № 192057. Секция анкерной крепи / А.А. Зубков, А.Е. Зубков // Заявл. 25.01.2019 № 2019102110; опубл. 02.09.2019.

Подписано в печать 21.06.2022.  
Усл. печ. л. 2,0.

Формат 60x84/16.  
Тираж 100 экз.

Бумага тип. №1.  
Заказ 168.

Участок оперативной полиграфии ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38