

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский федеральный университет»

*На правах рукописи*



Волков Евгений Павлович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО  
ПРОСТРАНСТВА ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология  
(подземная, открытая и строительная)»

Диссертация на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук

Научный руководитель:  
Доктор технических наук,  
профессор А.Н. Анушенков

Красноярск 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР, ИЗУЧЕННОСТЬ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ.....	8
1.2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	18
1.3. СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	27
1.4. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛЫ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	34
1.5. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	37
2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	38
2.1. ПОДБОР СОСТАВОВ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	38
2.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	47
2.3. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	64
3. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	67
3.1. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ГОМОГЕНИЗИРУЮЩЕГО И АКТИВИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	67
3.2. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ АКТИВАЦИИ И ГОМОГЕНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ СМЕСИ.....	77
3.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОУДАРНО-КАВИТАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ.....	80
3.4. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «КОМСОМОЛЬСКИЙ».....	91
3.5. ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	98
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ.....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	130
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	131
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	140

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Актуальным направлением совершенствования технологии подземных горных работ является широкое внедрение систем разработки с закладкой выработанного пространства. Применение закладки – одного из радикальных средств рационального использования недр – обеспечивает безопасную разработку рудных залежей с минимальными потерями и разубоживанием, с сохранением земной поверхности, окружающей среды и утилизацией отходов производства. Практика показывает, что применение систем с закладкой выработанного пространства экономически оправдана при разработках не только месторождений ценных руд цветных металлов, но и ряда угольных и железорудных месторождений.

В большинстве случаев для формирования закладочного массива используются специально добываемый заполнитель и цемент, отличающиеся высокой стоимостью, что снижает конкурентную способность систем разработки с закладкой. Одним из наиболее перспективных путей снижения затрат на закладку, является использование хвостов обогащения. Расширение возможности применения хвостов обогащения сдерживается их тонкодисперсным состоянием, достигаемым при современном технологическом цикле рудоподготовки в процессе обогащения. При этом на ряде горнодобывающих предприятий производят складирование и хранение в хвостохранилищах, что приводит к увеличению затрат на отчуждение земель и отрицательно сказывается на экологической ситуации добывающего района. Таким образом, разработка технологии закладки выработанного пространства с использованием хвостов обогащения является актуальной научной и технологической задачей.

**Объект исследования** – технология приготовления закладочных твердеющих смесей.

**Предмет исследования** – способ воздействия на материалы твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения гидроударно-кавитационным полем.

**Целью** диссертационного исследования является разработка технологии закладки выработанного пространства твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ–2).

**Идея работы** заключается в применении импульсного гидроударно-кавитационного воздействия активации исходных материалов твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения

#### **Задачи исследования:**

1. Установить закономерности повышения прочностных и реологических свойств литых твердеющих смесей (ЛТС) с использованием хвостов обогащения и выбрать рациональный способ воздействия на материалы исследуемых смесей, обеспечивающий прочностные, реологические свойства, требуемые технологией возведения искусственного массива при закладке выработанного пространства.

2. Разработать установку для активации и гомогенизации компонентов литых твердеющих смесей на основе выбранного способа воздействия и определить механизм набора прочности литых твердеющих смесей при существующих и разработанной технологиях приготовления.

3. Разработать и рекомендовать технологию закладочных работ с использованием хвостов обогащения.

#### **Методика исследования**

При решении поставленных задач использован комплексный метод исследований, включающий:

- обобщение и анализ научно-технических публикаций по вопросам ведения закладочных работ с использованием хвостов обогащения;

- лабораторные и опытно-промышленные исследования, обработку результатов исследований с применением аппарата математической статистики и использованием вычислительных и графических пакетов современных программных приложений ЭВМ

- проведение количественного комплексного рентгеноспектрального и рентгенофазового вещественного анализа с использованием рентгеновского дифрактометра XRD 7000.

### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Содержание в хвостах обогащения мелкодисперсных фракций в составе рецептур закладки обеспечивает проявление их вяжущих свойств и повышение набора прочности твердеющих смесей при их обработке в поле гидроударно-кавитационных импульсов с частотой 5000-6000 имп/с.

2. Формируемая прочность и реологические свойства литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения определяется количественным присутствием дисперсных частиц хвостов обогащения в компонентах смеси, интенсивностью их совместной обработки гидроударно-кавитационными импульсами в среде вяжущего, ведущей к гомогенизации и ускоренному прохождению твердофазных химических реакций, образующих разветвленную кристаллическую решётку в процессе твердения.

3. Качество искусственного массива, возводимого в выработанном пространстве твердеющими составами с использованием хвостов обогащения, обеспечивается прочностными и реологическими свойствами закладочных смесей, формируемыми в поле гидроударно-кавитационных импульсов в процессе производства.

### **Научная новизна:**

1. Установлены закономерности повышения прочностных и реологических свойств литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения;

2. Определен механизм набора прочности литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения при существующих и разработанной технологиях приготовления;

3. Научно установлено, что гидроударно-кавитационная активация материалов смеси ведет к повышению набора прочности закладочного

массива за счет гомогенизации и активации мелкодисперсной части смеси составов.

**Степень достоверности работы.** Подтверждена сходимостью результатов лабораторных исследований с опытно-промышленными данными, патентной защитой новых технологических решений.

**Практическая ценность работы:**

– разработан гидроударно-кавитационный смеситель, обеспечивающий возможность смешивания исходных тонкодисперсных компонентов в твердеющих смесях в поле гидроударно-кавитационных импульсов, и позволяющий повысить эффективность работы вяжущего в составах смесей за счет наиболее полной гидратации вяжущего при его гомогенном распределении в среде мелкодисперсного заполнителя ЛТС;

– разработан способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного устройства обеспечивающий повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет повышения степени гидратации и активации компонентов закладочных смесей;

– разработаны технология производства закладочных смесей и рецептуры составов с использованием хвостов обогащения, обеспечивающие прочностные и реологические свойства, требуемые технологией возведения искусственного массива.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на всероссийских научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодёжь и наука», Красноярск, 2012-2014; международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: проспект Свободный», Красноярск, 2015; международном конгрессе-выставке «Цветные металлы», Красноярск, 2013-2014; всероссийской конференции к 70-летию ИГД СО РАН «Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности» (Новосибирск, 6-10 октября 2014 г.), II Всероссийской научной конференции с

международным участием Малышевские чтения (Старый Оскол, 2015); международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный», Красноярск, 2016-2019.

**Личный вклад автора** состоит в постановке цели и задачи исследования; обосновании способа воздействия на материалы твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения; разработке устройства, обеспечивающего воздействие гидро-кавитационных импульсов на материалы твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения при их производстве; постановке и проведении лабораторных и опытно-промышленных исследований по подбору и составу закладочных смесей с применением хвостов обогащения при различных технологиях их приготовления; разработке методики определения экономико-технологической эффективности исследуемых составов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения; апробировании разработанных устройств и технологии.

**Публикации:** основные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 научных работах, в том числе 7 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, получены 2 патента РФ на изобретение.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 138 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, 6 приложений и списка используемой литературы из 117 наименований; содержит 43 рисунка, 30 таблиц.

# **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР, ИЗУЧЕННОСТЬ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

## **1.1. Современное состояние закладочных работ на отечественных и зарубежных подземных рудниках**

При выемке рудных залежей на больших глубинах наибольшее распространение получили системы разработки с закладкой. Заполнение выработанного пространства закладочными смесями в сочетании с разгрузкой массива позволяет регулировать возникающие в призабойной зоне напряжения, способствует постепенному деформированию вмещающих пород без срыва крупных структурных блоков и, тем самым, снижению вероятности горных ударов. Исключаются пожары при добыче сульфидных руд.

Из других достоинств этих геотехнологий отмечаются высокие показатели качества и полноты извлечения запасов полезного ископаемого из недр, надежное поддержание земной поверхности без заметных ее деформаций, возможность утилизировать отходы горного и обогащательного производств. Системы разработки с закладкой выработанного пространства широко используются при отработке залежей сложной формы с ценными рудами, а также при залегании рудных тел под охраняемыми природными, производственными и социальными объектами. Сравнительно высокая себестоимость добычи минерального сырья с закладкой компенсируется незначительным разубоживанием, более полным извлечением добываемого полезного ископаемого, возможностью селективной его выемки с оставлением в недрах части породных включений.

Значительный вклад в создание, развитие теории и практики отработки месторождений системами с закладкой выработанного пространства, а также в совершенствование способов формирования закладочных массивов внесли ученые: М. И. Агошков, Х.И. Аглюков, У.А. Алдамбергенов, А.Н. Анушенков, В.В. Аршавский, О. А. Байконуров, Р.В. Балах, М.Ж. Битимбаев, Д. М. Бронников, И. Е. Ерофеев, Н. Ф. Замесов, В. Р. Именитов, В. Н.



Калмыков, Д. Р. Каплунов, Л. А. Крупник, Е. В. Кузьмин, А.Н. Монтянова, В.С. Музгина, Г.А. Прокушев, А. Л. Требуков, К. Н. Трубецкой, М. Н. Цыгалов, Ю.Н. Шапошник и др.

Закладка выработанного пространства используется в любых сложных горнотехнических и геомеханических условиях. Ее применение обусловлено разнообразными целями (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Цель и условия применения закладки

Цель	Условия
Повышение полноты и качества извлечения руд	Отработка охранных целиков Селективная выемка, разработка месторождений сложной морфологии Разработка месторождений ценных руд
Разработка месторождений в сложных горнотехнических условиях	Сильнообводненные месторождения Неустойчивые руды и вмещающие породы Разработка пожароопасных месторождений Разработка глубоких горизонтов
Интенсификация разработки месторождений	Совместная разработка открытым и подземным способами Опережающая разработка Восходящая разработка
Улучшение условий труда	Разработка удароопасных месторождений
Охрана окружающей среды	Охрана недр, земли, лесных массивов, водных бассейнов Утилизация отходов производства

С ростом ценности извлекаемых полезных компонентов, повышением законодательных требований к охране земной поверхности, утилизации отходов промышленности от горно-металлургической до бытовой, увеличением глубины горных работ область применения технологий добычи руд с закладкой будет постоянно расширяться.

Литая твердеющая смесь содержит вяжущее вещество, мелкозернистый наполнитель и воду. Для повышения скорости твердения смеси, улучшения показателя транспортабельности в ее состав вводят активизаторы и пластификаторы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Назначения и виды материалов для приготовления ЛТС

Назначение	Материалы
Вяжущее	Портландцемент, молотые металлургические шлаки, золы уноса, ангидрит, гипс, цеолит и др.
Активизаторы	Цемент, известь, гипс, шламы, ангидрит, доменные шлаки, щелочные отходы производства и др.
Пластификаторы	Глина, известняк, хлорное железо, хлористый кальций, сернокислый натрий, сульфидно-спиртовая барда и др.
Заполнитель	Хвосты обогащения, песок, дробленая порода шахтных отвалов, отвальные шлаки, гравий и др.
Несущая среда и реагент процесса твердения	Сбросовые воды рудника, обогатительной фабрики, техническая вода.

Цементные вяжущие применяются на многих рудниках России и мира. Это обусловлено рядом преимуществ его использования: минимальные сроки твердения относительно других вяжущих, простота технологии приготовления ЛТС, сокращение капитальных затрат на строительство закладочного комплекса.

В разное время на рудниках испытывали и применяли разнообразные вяжущие материалы, способные полностью или частично заменить цемент – достаточно дорогостоящий продукт. Наибольшее распространение получили шлаковые вяжущие.

Структура литой твердеющей закладки (ЛТЗ) такова, что 85-90% ее составляет заполнитель с водой. Качество заполнителя во многом обуславливает характеристику возводимого массива.

Основные требования к заполнителям: предел прочности их должен быть на 10-15% выше нормативной прочности закладки, отсутствие вредных примесей, транспортабельность и экономичность. По экологическим и экономическим факторам необходимо стремиться использовать в качестве заполнителя отходы обогатительной фабрики и рудника.

Повышению прочности ЛТЗ, улучшению ее транспортабельности способствует введение в смесь пластифицирующих добавок. Их используют для ускорения твердения ЛТС, повышения текучести раствора, экономии цемента, повышения водоудерживающей способности смеси.

Активизаторы повышают гидравлическую активность вяжущего. Эффективными активизирующими свойствами обладают ангидрит, известь, золы уноса, цемент и др.

Наряду со свойствами компонентов ЛТЗ, на ее качество большое влияние оказывает технология производства и тип применяемого оборудования. Используемые в настоящее время на горных предприятиях закладочные комплексы с цементным вяжущим однотипны и представляют собой бетоносмесительные устройства (рисунок 1.1). Закладочные комплексы разнообразны и объединяют средства для измельчения, приготовления и транспорта смесей, как правило, на основе комплексных вяжущих.

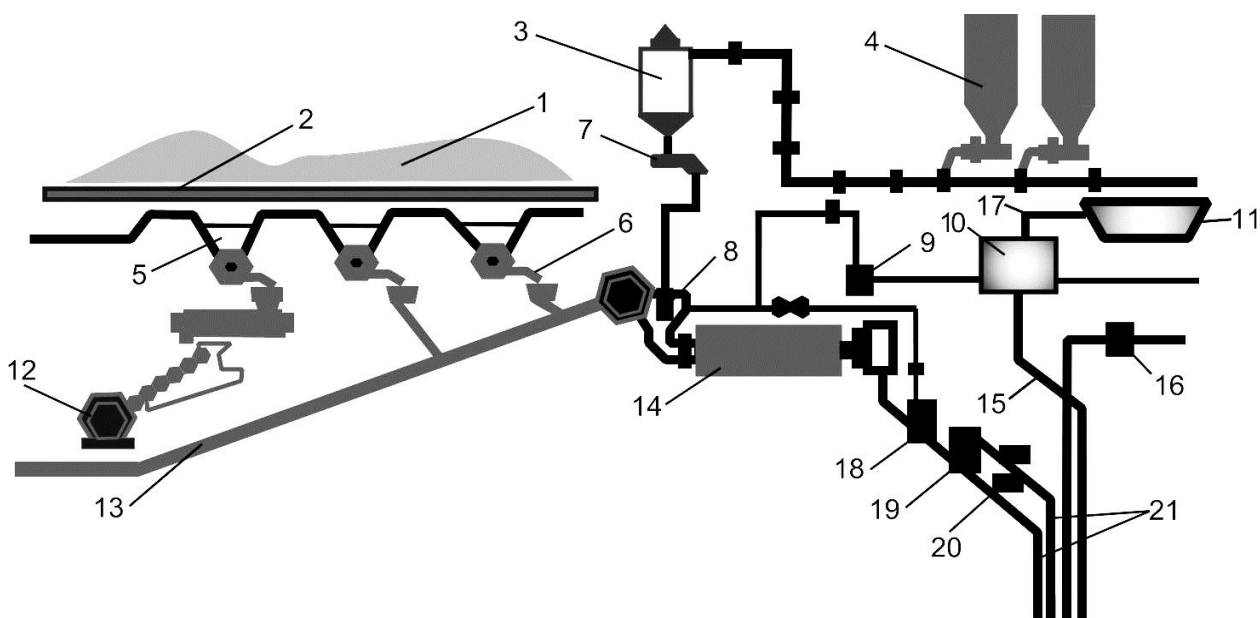


Рисунок 1.1 - Технологическая схема закладочного комплекса: 1 - склад компонентов; 2 - неподвижный грохот; 3 - расходный бункер; 4 - склад вяжущего; 5 - приемный бункер; 6 - дозаторы компонентов; 7 - весовой дозатор; 8 - репульпатор; 9 - регулятор подачи воды; 10 - расходный бак воды; 11 - водосборник; 12 - дробилка; 13 - ленточный конвейер; 14 - мельница; 15 - водопровод; 16 - регулятор сжатого воздуха; 17 - насос; 18 - узел контроля качества; 19 - бак распределения смеси; 20 - обратный клапан продувки трубопровода; 21 - закладочный трубопровод

Вода для закладки не должна содержать в большом количестве вредных кислотных примесей, агрессивных к бетону. Для приготовления ЛТС применяют воду с показателем кислотности больше 4, содержание

сульфатов менее 2,7 г/л и других солей не более 5 г/л. Слегка щелочные воды ускоряют процесс схватывания.

Участвующие в приготовлении ЛТС материалы подвергаются предварительной переработке и требуют: доизмельчения для повышения активности – цемент, золы ТЭЦ; мокрого измельчения – шлаки; дробления, измельчения – заполнители (скальные породы); обезвоживания и дешламации – хвосты обогащения.

Приготовление ЛТС предусматривает процесс подготовки шихты, включающий подачу компонентов смеси в закладочный комплекс (ЗК), дозирование их, измельчение и перемешивание в смесительных устройствах. Готовые твердеющие смеси подаются в выработанное пространство трубопроводным транспортом.

Большое значение в получении качественного твердеющего раствора отводится вяжущему. Формирование сложного вяжущего из различных компонентов осуществляется в процессе измельчения материалов. Эти процессы оказывают решающее влияние на гомогенность и подвижность смеси, характер протекающих в ней физико-химических процессов (скорость гидратации вяжущего, кинетику твердения и т.д.). Приобретенные в процессе приготовления ЛТС свойства должны сохраняться в течение всего времени ее транспортирования и укладки в выработанном пространстве.

Выполненные научно-исследовательские работы [1-24], промышленные испытания показали, что наилучшие результаты в производстве ЛТС достигаются при мокром способе ее приготовления в шаровой мельнице, когда процессы измельчения и перемещения компонентов закладки в растворе вяжущих совмещены [16-44]. Этот способ позволяет получить высокую степень активности тонкоизмельченного вяжущего (до 55% частиц крупностью не выше 70 мкм) с образованием центров повышенной активности.

Литая твердеющая закладка, благодаря своим достоинствам, получила наиболее широкое распространение на подземных рудниках в сложных

горнотехнических условиях на больших глубинах. Основными преимуществами этого способа являются:

- возможность создать искусственный массив требуемой прочности и обеспечить надежное поддержание подрабатываемого горного массива и земной поверхности;
- возможность полной автоматизации приготовления и трубопроводного транспорта ЛТС;
- использование в качестве вяжущего и заполнителя отходов металлургического и горно-обогатительного производства.

В числе недостатков отмечаются:

- большие капитальные затраты на оборудование и строительство закладочного комплекса;
- сравнительно высокие издержки производства, достигающие 20-30% в себестоимости добычи полезного ископаемого.

Наиболее распространенным типом закладочных смесей, используемым в нашей стране и зарубежье, является твердеющая закладка (таблица 1.3). При этом литые и пастовые закладочные смеси содержат воду, преимущественно мелкозернистый заполнитель и вяжущее. Литые смеси отличаются от пастовых повышенным содержанием воды, большей пластичностью и подвижностью.

Таблица 1.3 - Твердеющие закладочные смеси, используемые в практике закладочных работ

Рудник	Вид закладки по технологии производства	Вяжущее	Заполнители	Расход вяжущих, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при одноосном сжатии, МПа
«Ачисайский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Хвосты обогащения, до 100 % частиц фракции минус 0,43 мм	100—140	1,42—4,9 через 30—165 сут
«Гайский» (Россия)	Литая	Цемент + молотый доменный гранулированный шлак	Хвосты обогащения	40—210 (цемент) + 360 (шлак)	0,2—2,3 (28 сут) 1,0—5,3 (180 сут)
«Карсон» фирмы «Инко Садбери» (Канада)	Пастовая	Цемент	Хвосты флотации	60	0,65 (28 сут)
«Граунд Майн» (Германия)	Пастовая	Цемент	Хвосты флотации (0,025—0,05мм):отходы тяжелосреднего обогащения (3—30мм) = 1:1	66	2,0 через 90 сут
Рудники Жезказгана (Казахстан)	Литая	Цемент + зола	Порода + хвосты	190 (цемент) + 35 (зола)	3,5 через 210 сут
«Заполярный» (Россия)	Бетонная	Цемент	Песок + щебень	350—500	~20,0 МПа
«Крейтон» фирмы «Инко Садбери» (Канада)	Пастовая	Цемент	Хвосты	50—120	0,4—0,8 через 14 сут
«Каульды» (Узбекистан)	Литая	Цемент + зола	Песок + отходы мраморного карьера		4,3—5,1 через 28—360 сут
«Керетти» (Финляндия)	Литая	Цемент	Гравий + хвосты обогащения	110	0,6 МПа
«Люпин» (северо-западные территории Канады)	Пастовая	Цемент	Текущие хвосты флотации	60—132	0,4—0,8 через 14 сут; 0,9—1,2 (28 сут)
«Макасса» (Канада)	Литая	Цемент + зола	Хвосты + песок	66—330 (цемент) + зола	0,6—3,4
«Малеевский» (Казахстан)	Литая,	Цемент	Легкая фракция тяжелых	250	5,0

Рудник	Вид закладки по технологии производства	Вяжущее	Заполнители	Расход вяжущих, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при одноосном сжатии, МПа
	«мельничный» способ производства		суспензий обогатительных фабрик		(180 сут)
«Норильский никель» (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент (клинкер) + шлак + ан гидрит	Щебень	60—180 (80—300) + 600—800 + 350—900	4—5 (180 сут)
«Октябрьский» Бурибаевского рудоуправления (Россия)	Литая	Цемент	Дробленая порода + глина	180—240	Ниже проектных показателей
«Риддер-Сокольный» (Казахстан)	Литая	Цемент	Песок + хвосты	100—200	
Североуральский бокситовый рудник (Россия)	Литая	Цемент + шлак или зола	Дробленая порода отвалов	100—200 (цемент) + 150 (шлак или зола)	2,6—8,0 (180 сут)
«Тишинский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Отсев+хвосты	360—475	10—14 (360 сут)
«Узельгинский» Учалинского ГОКа (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент + доменный граншлак	Отсев дробильно-сортировочных фабрик (диабаз)	90—335	1,0—11,0 (180 сут)
«Улудак» (Турция)	Литая	Цемент	Отход от производства мрамора + хвосты		
Учалинский подземный рудник (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент	Отсев дробильно-сортировочных фабрик (диабаз)	100—400	1,0—11,0 (180 сут)
«Фанькоу» (Китай)	Литая	Цемент	Хвосты	100—300	
«Яковлевский» (Россия)	Литая	Цемент	Песок	150	5—6 МПа через 180 сут

Известны несколько способов получения литой твердеющей закладки [1-5, 12-14, 20, 27-,38]: 1-мелкозернистый или мелкодробленый заполнитель подается в смеситель, куда одновременно дозируются вяжущее и вода; 2-крупнозернистый заполнитель, вода, цемент или комбинация из материалов, образующих вяжущее (например, ангидрит, шлак), одновременно подаются в шаровые мельницы. При переработке в шаровой мельнице происходит доизмельчение вплоть до тонкодисперсных фракций всех твердых компонентов смеси, разогрев ингредиентов закладки за счет энергии разрушения и перемешивание всех компонентов. Данный способ получил название «мельничный способ» производства закладки. Он впервые разработан на рудниках Талнахского месторождения и с успехом применяется на рудниках Урала и Восточного Казахстана.

«Мельничный способ» производства закладки наиболее перспективен для закладочных комплексов, производящих закладку в суровых климатических условиях, где затраты на растепление компонентов закладки очень высокие.

Пастовые твердеющие закладочные смеси достаточно широко распространены за рубежом – в Канаде, Германии, Австралии. Их технология приготовления основана на использовании хвостов обогащения и включает: обезвоживание хвостов в гидроциклонах и перемешивание их с цементом. При этом смеси характеризуются низким водосодержанием и низкой подвижностью. Несмотря на очевидные достоинства данной технологии, она имеет ряд недостатков: пастовые смеси однородного гранулометрического состава трудно поддаются перекачке по трубам ввиду недостаточного содержания в них тонкой фракции. В то же время значительный объем тонкой фракции требует больших затрат по обезвоживанию закладочного материала. Технология производства пастовой закладки связана с высокими капитальными и энергетическими затратами. Возрастают требования к контролю за процессом приготовления закладки из-за малых допусков в отклонении дозировки: для твердого  $\pm 0,5$  %, для воды  $\pm 0,25$  %.



Высокая интенсивность ведения закладочных работ при использовании литых и пастовых закладочных смесей обеспечивается трубопроводным транспортом закладки, работающим в самотечном или самотечно-пневматическом режиме. Трубопроводный транспорт закладки используется на рудниках почти повсеместно.

Производство твердеющих литых и пастообразных закладочных смесей сопряжено с использованием вяжущих материалов. Наиболее широко для приготовления твердеющей закладочной смеси используются следующие типы вяжущих материалов: цементный, шлаковый, зольный, ангидритовый.

Цементный тип получил широкое распространение в практике закладочных работ. В настоящее время цементные смеси успешно применяют на многих рудниках (Учалинский, Зыряновский, Малеевский, Орловский, Тишинский, «Граунд Майн»; «Люпин», рудниках НПО «Жезказганцветмет» и т.д). Главным недостатком цемента как вяжущего является его высокая стоимость.

Отдельные рудники - крупные потребители цемента для закладочных работ, рассматривали вопрос об организации его производства собственными силами. Свинцово-цинковый рудник «Фанькоу» (Китай), добывающий системами с закладкой примерно 1 млн.т руды в год, имеет в своем составе цементный завод с двумя вращающимися печами. Себестоимость собственного цемента примерно в 2 раза меньше, чем покупного. На Норильском ГМК построен завод по производству цемента, который используется в процессе приготовления закладочных смесей.

Бесцементный или бесклинкерный тип закладки упоминается в технической литературе довольно часто, но по существу описываемый тип закладки относится к малоцементным композициям, которые содержат в своем составе цемент и какую-либо активную минеральную добавку или шлак.

Закладочные смеси различаются не только типом вяжущего, но и типом заполнителя. При производстве закладочных смесей используются

заполнители, применение которых в строительной промышленности зачастую не допускается. Технических условий на заполнители для закладки не существует. В качестве заполнителя закладочных смесей используются как природные материалы, так и отходы производства.

Выбор заполнителя определяется главным образом запасами, стоимостью его добычи, подготовки и транспорта, а также принятым способом транспортировки закладочной смеси. В практике закладочных работ получили наиболее широкое использование: дробленые породы вскрыши, хвосты обогащения, отсеvy дробильно-сортировочных фабрик, породы от проходческих работ и т.п.

Закладочные работы, являются составной частью горных работ, формирующих основные статьи затрат в себестимости добываемой руды [36, 37]. По опыту работы основных горнодобывающих предприятий, работающих системами с закладкой выработанного пространства, затраты на закладочные работы составляют 30 % затрат на горные работы. Следовательно, минимизация стоимости закладочной смеси при сохранении ее основных технологических параметров с попутным решением экологических проблем – является актуальной и неотъемлемой частью повышения эффективности разработки месторождений системами с закладкой выработанного пространства.

## **1.2. Существующие технологии приготовления литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения**

Гидравлическая закладка подземных рудников состоит из классифицированных хвостов обогатительной фабрики, пустой породы или аллювиальных песков. Закладка из хвостов готовится обезвоживанием потока хвостов обогатительной фабрики до пульпы с содержанием 65-70% твердых с последующим прохождением ее через гидроциклоны для удаления шламов и получения песковой фракции для закладки. Закладочная смесь

гидравлически закачивается с поверхности через сеть труб и шпуров к горной выработке.

Хорошие гидравлические закладки имеют коэффициент фильтрации в диапазоне  $7 \times 10^{-8}$  м/сек -  $7,8 \times 10^{-5}$  м/сек.

Чтобы увеличить силу сцепления в гидравлической закладке, добавляются цемент и другие связующие. Надо отметить, что прочность закладки снижается с ростом содержания воды, а содержание воды, необходимое для транспортировки этой закладки, намного превышает количество, требуемое для гидратации цемента. Поэтому, чтобы уменьшить расход цемента и связующих добавок, предприятия стремятся снизить содержание воды в закладке.

Пастообразная закладка является закладкой с высокой плотностью (>70% твердых).

Чтобы закачать материал с такой плотностью, составной частью этого материала должна быть тонкая фракция. Как правило, содержание тонких фракций (>20 мкм) должно быть минимум 15% по весу. Пастообразная закладка закачивается насосами поршневого типа, такими же, какие используются для закачивания бетона. Для приготовления пастообразной закладки часто могут быть использованы полностью все хвосты обогатительной фабрики. Конечный продукт имеет меньший коэффициент пустотности, поэтому закладка более плотная. Частицы в пастообразной смеси не будут высаживаться из смеси, если созданы условия для того, чтобы смесь в баке или трубопроводе оставалась в стационарном состоянии. Она может быть помещена в выработанное пространство с или без связующих добавок в зависимости от требуемой прочности закладки.

Основными недостатками пастообразной системы закладки в сравнении с обычными установками гидравлической закладки являются: более высокие капитальные затраты, чувствительность пасты к малым изменениям воды и крупности зерна, что требует технического

проектирования более высокого уровня для контроля давления в трубопроводах.

Закладочные смеси, используемые на подземных рудниках ведущих  
зарубежных никелевых компаний

Компания Inco. (Отделение Sudbury). Компания постоянно вела работы по созданию прочных закладочных смесей и снижению затрат на их изготовление и транспортировку. Так, на руднике CreanHill в 1980-х годах проводились исследования по использованию закладки высокой плотности. Компания испытывала закладку с содержанием 75-80% твердых. Преимущества такой смеси в меньшем содержании воды и снижении на 15% использования цемента. Высокая плотность смеси делает ее более прочной, и для такой смеси легче, чем закладок с меньшей плотностью, контролируется прочность на сжатие. Кроме того, снижается утечка воды из заложенных выработок, что ведет к снижению затрат.

Теоретически подобная идея была заложена в 1980-х годах в исследование пастообразной закладки на руднике Levack (в настоящее время закрыт). Пастообразная закладка, исследуемая там – это смесь, которую можно транспортировать насосом, состоящая из 50% дробленой до  $\frac{3}{4}$  дюйма пустой породы и 50% хвостовых шламов –325 меш, содержащих 15% воды. Содержание воды имеет большое значение: при слишком низком содержании (<14%) закладочную смесь невозможно подавать насосом, при слишком высоком содержании (>19%) смесь разделяется.

За последние несколько лет канадской горной промышленностью основательно разработана подземная пастообразная закладка, зарекомендовавшая себя экономически эффективной высококачественной закладкой, альтернативной каменной и гидравлической закладкам. Некоторые канадские рудники, в том числе рудники Coleman (в 2001 г закрыт) и Garson компании Inco установили такие системы.

Inco Research and Technology сосредоточила свое внимание на исследовании продуктов с высокой плотностью и новых связующих

материалов для быстрого размещения и увеличения прочности и ускорения производственного цикла.

На всех рудниках в Sudbury, кроме рудника Garson, используется гидравлическая закладка.

На руднике McCreedyEast используется гидравлическая закладка из цементированного и нецементированного аллювиального песка с добавлением классифицированных хвостов, а также горной породы. Максимальное содержание цемента в цементированной закладке 10%. Суточная производительность по закладке 1800 т.

На руднике CopperCliffSouth используется гидравлическая закладка, состоящая из хвостов и горной породы в соотношении 10:1 или 30:1 и 10% цемента.

На руднике Creighton гидравлическая закладка состоит из хвостов обогатительной фабрики, горной породы и цемента; на руднике Stobie гидравлическая закладка состоит из хвостов обогатительной фабрики и 5-7% цемента.

Хвосты – это крупная фракция обогатительной фабрики Clarabelle, Обычно для закладки используется смесь из 70% песковой фракции и 30% воды.

На руднике Garson пастообразная закладка состоит из пустой породы, в качестве связующего вещества используется шлак – 3% по весу.

На рудник Thompson (Отделение Manitoba) для закладки используют крупную фракцию хвостов обогатительной фабрики Thompson, которая выделяется в гидроциклонах в количестве 2-3 тыс. т/сут. в виде пульпы с содержанием твердого 65% (называемую песками), в смеси с цементом. Соотношение песок: цемент в закладочной смеси составляет от 20:1 (в нижней части заполняемого пространства) до 25:1 (в верхней части отработанного блока). По оценке канадских специалистов, прочность такой закладки после схватывания до 0,42 МПа.

На рудник Birchtree используется закладка из горной породы с цементом или без него. Цементированная закладка содержит 3,5% цемента и порошковой золы. На рудник поставлены две отдельные полностью автоматизированные модульные закладочные системы.

Обе установки включают бункера-накопители цемента с коллектором пыли, винтовые конвейеры для доставки связующего материала в коллоидальный смеситель, современный насос и полностью автоматизированная система контроля. Первая система построена на 2500 литровой четырехвалковый коллоидальный смеситель, а вторая система включает 1000 литровой двухвалковый смеситель.

Кроме перечисленного выше оборудования, на вторую установку поставлены 20-тонный бункер-накопитель с пневмонасосом и воздушный компрессор.

В компании Falconbridge отвальные хвосты контрольной флотации фабрики Strathcona поступают в гидроциклоны для отделения из нее шламовой фракции, которая направляется в хвостохранилище. Пески гидроциклонов используются для приготовления здесь же на фабрике закладочных смесей с заданным соотношением хвостов и цемента, которое поддерживается автоматически. Полученные закладочные смеси подаются на подземные рудники частично насосами в виде пульпы, частично транспортируются автомашинами в виде кека после фильтрации пульпы на барабанных фильтрах. Количество отвальных хвостов, используемых в подземных рудниках для закладки выработанного пространства, составляет до 45% от общего количества руды, поступающей на фабрику.

На руднике Fraser используется закладка из хвостов с цементом и без цемента. В цементированной закладке содержится 5-8% цемента.

На руднике Craig также используется закладка из классифицированных хвостов с цементом и без него.

На руднике Lockerby используется закладка из классифицированных хвостов и пустой породы с 10% цемента.

Китайская никелевая компания JinchuanNonferrousMetalsCorp. в 1985-1992 гг в кооперации со Швецией и Австралией проводили исследования цементированной закладки горных выработок на механизированном участке. В 1997 году, после пяти лет исследований и испытаний, была установлена и успешно введена в действие система закачивания пастообразной закладки. В настоящее время вся руда Jinchuan добывается с использованием метода цементированной закладки.

Основным изменением в технологии подготовки закладки компании WMC был ввод модульных непрерывных смесительных систем. Это дало возможность WMC с низкими капитальными затратами построить на двух подземных никелевых рудниках Junction в Kambalda и Perseverance в Leinster системы с высокой скоростью закладки, использующие накопленные хвосты из старых хвостохранилищ. Капитальные затраты на такие установки могут составлять треть или четверть от капитальных затрат на обычные установки по приготовлению пастообразной закладки. Но производственные затраты немного выше, т.к. они несут дополнительные транспортные расходы. Это значит, что такие установки подходят для рудников малого или среднего размера или для короткого периода расширения мощности на рудниках большего размера. Модульный характер этих установок означает, что они могут легко перемещаться в другое место или даже на другие рудники.

На медно-урановом руднике OlympicDam выработки закладываются цементированной смесью горной породы, хвостов обогатительной фабрики, цемента и порошковой золы от сгорания топлива.

Практика и обзор существующей литературы показали, что применение закладки выработанного пространства в определенных горно-геологических условиях является не только технически целесообразным, но и экономически оправданным при разработке месторождений.

Анализ изученности и состояния вопроса производства литых твердеющих смесей на горных предприятиях, применяемых систем

разработки с закладкой выработанного пространства показывает, что в этой области накоплен большой теоретический и практический опыт.

При этом особую важность приобретают системы с закладкой при разработке месторождений ценных руд на больших глубинах и зонах тектонических нарушений, где борьба с постоянно возрастающим горным давлением и возникающими горными ударами невозможна без использования в системах разработки прочных искусственных массивов. Однако высокая стоимость твердеющих смесей, технологии их приготовления и способы доставки в выработанное пространство являются основными факторами, сдерживающими широкое их применение.

В настоящее время достигнуты значительные успехи в развитии техники и совершенствовании технологии ведения закладочных работ.

Однако применение многими горными предприятиями высокомарочных цементов и дорогостоящих инертных заполнителей значительно повышает стоимость закладки, при этом только частично используются технологии повышения активности вяжущего. Переход на низкомарочные вяжущие (цемент и молотые гранулированные шлаки), изыскание новых экономически выгодных технологий производства закладочных смесей, а так же использование вяжущих и заполнителей, в качестве которых можно применять хвосты обогатительных фабрик, несомненно, будет способствовать распространению систем с закладкой в практике горных работ и является актуальной задачей, решение которой позволит значительно расширить сырьевую базу многих горных предприятий, повысить эффективность их работы и решить вопросы охраны окружающей среды.

В настоящее время объем отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, достиг сотни миллионов кубических метров (таблица 1.4). Это сопровождается изъятием из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов значительных площадей ценных земель для размещения хвостохранилищ (рисунок 1.2).



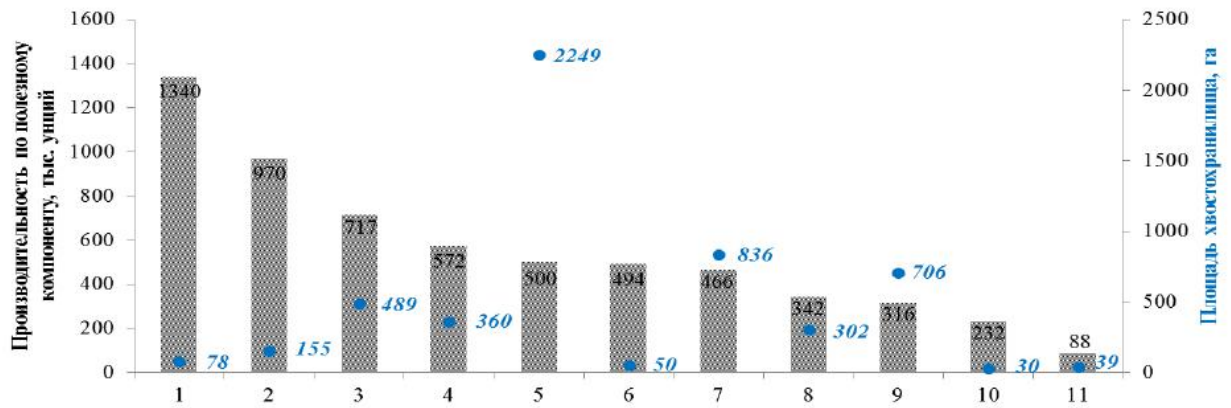


Рисунок 1.2 – Площади хвостохранилищ при производительности горно-обогатительных предприятий со сроком эксплуатации: 1 – 14 лет (Cortez Gold Mine); 2 – 23 года (Yanacocha Mine); 3 – 23 года (Takwa Mine); 4 – 4 года (Pueblo Viejo Gold Mine); 5 – 29 лет (Paracatu Mine); 6 – 16 лет (Geita Gold Mine); 7 – 37 лет (АО «Васильевский ГОК»); 8 – 16 лет (Morila Gold Mine); 9 – 27 лет (Kalgoorlie Mine); 10 – 21 год (Cripple Creek & Victor Gold Mine); 11 – 10 лет (Боголюбовское месторождение)

Хвостохранилище наносит существенный вред окружающей среде. В первую очередь, это связано с загрязнением поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды и почвы. Присутствует риск тяжелых последствий в случае разрушения дамбы хвостохранилища, о чем свидетельствует информация, опубликованная Комитетом Международной Комиссии по крупным хвостовым дамбам, о произошедших за последние 45 лет 221 инциденте, 135 из них были авариями, в результате которых было выброшено 41,9 млн м<sup>3</sup> жидких отходов, распространившихся на значительные расстояния, что вызвало обширные разрушения и человеческие потери.

Таблица 1.4 – Земли, отчуждаемые под хвостохранилища некоторых горно-обогатительных комбинатов

Объект	Площадь хранилищ, га	Объём накопленных отходов, млн м <sup>3</sup>	Складирование отходов, млн т/год
АО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), МОФ №1	800	400	27
АО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), сектор МОФ	1550		
АО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), сектор СОФ	431		
АО «Александринская горнорудная компания» (Челябинская обл.)	55	5,06	2
АО «Апатит», АНОФ-2 (г. Кировск Мураманская обл.)	780	720	160
АО «Апатит», АНОФ-3 (г. Кировск Мураманская обл.)	1800		110
ТОО «Корпорация «Казахмыс» ПО «Балхашцветмет» (Казахстан)	1760	200	24
Металлургический завод по производству чугуна «ПАНГ ПЕТ» (Союз Мьянмы Бирма)	18	1	0,6
АО «Бокситогорский глинозем» (Ленинградская обл.)	80	16,2	0,3
АО «Altyntau Kokshetau» «Васильевский ГОК», Хвостохранилище флотации, (Казахстан)	620	144	236
АО «Altyntau Kokshetau» «Васильевский ГОК», Хвостохранилище сорбции, (Казахстан)	216	6,5	
АО «АГД ДАЙМОНДС», ГОК на базе месторождения алмазов им. В.П.Гриба (Архангельская обл.)	305	25	4,5
АО «ГМК «Дальполиметалл», центральная обогатительная фабрика (Приморский край)	51,8	13,3	8,7
АО «Altyntau Kokshetau» Обогатительная фабрика «Алтай» (Казахстан)	250	80	2,7
АО «Маднеули», ОФ (Грузия)	48	27,7	1,7
АО «Северо-западная фосфорная компания» (Мурманская обл.)	280	48	6
АО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (Башкортостан)	105	35	5,2

В связи с этим решение проблемы использования отходов обогащения в закладку, а соответственно, сокращения объёмов жидких отходов и соответственно площадей, изымаемых под их хранение, обеспечит экологическую и технологическую безопасность ведения работ. Решение данной проблемы остаётся актуальным для ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» при размещении хвостов обогащения Талнахской обогатительной фабрики.

### 1.3. Существующие способы повышения качества литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения

Большое значение при приготовлении закладочных смесей имеет активация вяжущих, воды и смеси в целом, обеспечивающая повышение прочности закладочного массива и снижение расхода цемента.

Применяемые в современной технологии закладочных работ способы активации твердеющих смесей могут подразделяться на группы по разным классификационным признакам (таблица 1.5).

Прочность бетонов на домолотом цементе при увеличении его удельной поверхности на 1000-2000 см<sup>2</sup>/г возрастает по сравнению с бетонами на исходном цементе в первый день твердения в 1,5-2 раза, затем нарастание прочности замедляется и к возрасту 28 дней составляет всего 15-40%.

Таблица 1.5 - Классификация способов повышения активности исходных материалов твердеющей закладочной смеси

Классы	Группы	Варианты
Механическая активация	Мельницы Дезинтеграторы Дробилки	Шаровые, стержневые, трубные В присутствии воды; по безводной схеме
Виброактивация	Вибросмесители Вибромельницы Турбулентные активаторы	Горизонтальные, вертикальные Горизонтальные, вертикальные Горизонтальные, вертикальные
	Виброгрохоты Вибротранспортные установки	Роторно-пульсационные аппараты С электровозмущением, с пневмовозмущением С электровозмущением, с пневмовозмущением
Электроактивация	Электромагнитная Электрохимическая	Омагничиватели трансформаторного типа; немагнитные прокладки в магнитопроводе Электродиализ, диафрагменные
Химическая активация	Поверхностно-активные вещества (ПАВ) в смесях Реагентная очистка вод	Гидрофобные, гидрофильные По виду компонентов
Комбинированные способы активации	Совмещение двух или нескольких способов Рациональный подбор соотношения компонентов Другие способы активации	Одного класса, двух или более классов

Достоинством доизмельчения вяжущих как метода активации является его эффективность в сочетании с простотой технологии. К недостаткам можно отнести дороговизну и громоздкость оборудования.

Применяется сухой и мокрый домол вяжущего. Сухой домол в наибольшей мере повышает активность цемента в образцах из цементного теста. Прочность образцов из раствора повышается не так значительно, меньше всего эффект активации сказывается на прочности бетонов.

Мокрый домол, сопровождающийся глубокой гидратацией, дает возможность механически удалять с цементных зерен продукты гидратных новообразований, благодаря чему существенно увеличивается количество геля в цементном тесте и обнажаются свежие поверхности зерен у цемента. Влага, равномерно распределяющаяся вокруг цементных зерен, интенсифицирует процессы структурообразования и твердения цемента.

Мокрый домол цемента может производиться на бегунах, в шаровых мельницах и переоборудованных бетономешалках, в вибромельницах с мелющими телами, в специально сконструированных механизмах. Схемы включения их в технологические цепи бетонозакладочного комплекса аналогичны схеме сухого помола.

Для предварительной активации цемента в жидкой среде эффективно применение роторно-пульсационных агрегатов, в которых цементная пульпа под давлением многократно пропускается через специальное устройство, представляющее собой неподвижный и вращающийся диски с отверстиями. При вращении между дисками то возникают, то захлопываются отверстия и в пульпе создается сложное, волновое движение, вызывающее измельчение цементных зерен. В аппарате можно эффективно готовить композиционные вяжущие мокрого помола с использованием суперпластификаторов, активных наполнителей, микрокремнезема и других добавок, добиваясь высокой гомогенизации смеси.

Эффективность помола при сухом и мокром способах можно повысить

добавкой абразивного кварцевого материала (песка или отходов обогатительных фабрик) в количестве 20-30% от вяжущего.

Перспективным способом активации закладочных смесей является виброобработка их в процессе приготовления.

Виброобработку цементного теста рекомендуется производить при В/Ц = 0,8-0,9 его нормальной густоты в зависимости от состава цемента. При больших значениях В/Ц части твердой фазы оказываются сильно раздвинутыми водной прослойкой и вибрация приводит к расслоению смеси без существенного эффекта активации.

Разработан ряд конструкций виброактиваторов непрерывного действия, которые включаются в технологическую схему закладочного комплекса.

Вертикальный вибросмеситель применяется для активации смеси после смешивания ее в обычном лопастном смесителе. Смесь поступает в приемную воронку вибросмесителя и, проходя по грузонесущему органу, подвергается воздействию вибрации. Амплитуда колебаний рабочего органа 0,6 мм, частоты вибрации 50 Гц. Активация смеси в вибросмесителе повышает прочность образцов на 33%, снижает расход цемента при постоянной прочности на 20% и водовяжущее отношение на 20-25%.

Под механической активацией понимают увеличение способности материала вступать во взаимодействие с другими веществами и материалами. Механическую активацию применяют для улучшения технических характеристик материалов средней твердости. Однако в связи с высокой энергоемкостью процесса и недостаточной стойкостью рабочих органов механические активаторы еще не получили широкого распространения. Процессы измельчения и активации в таких аппаратах различаются по величине энергетических и эксплуатационных затрат. Наиболее широко используется механическая активация различных материалов в шаровых мельницах, где повышение активности твердых тел достигается разрушением их структуры. Эффективность измельчения оценивают по приращению общей поверхности измельченного материала. Так, при активации в

мельнице удельная поверхность доменных шлаков увеличивается до  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , что повышает активность материала на 20—30 %. Лежалые шлаки также необходимо предварительно активировать.

Эффективность процесса измельчения оценивают эксплуатационными и энергетическими затратами при обеспечении максимального выхода фракций требуемой крупности. В шаровой мельнице при измельчении материала под действием удара измельчающих тел-шаров невозможно создать воздействие большой мощности, поэтому выход активной фракции не превышает 40-45% исходного объема. Наибольшие затруднения возникают при измельчении различных отходов производства – металлургических шлаков, зол горелых пород, шламов аглофабрик. Измельчение этого сырья требует применения специальных методов активации или более совершенных измельчительных агрегатов.

Наиболее эффективны для механической активации различных видов сырья механические дезинтеграторы, использующие силы инерции рабочих органов при высоких скоростях вращения, что увеличивает выход активной фракции при меньшем расходе электроэнергии.

В дезинтеграторе материал измельчается лопастями, закрепленными на роторах, жестко насаженных на валах двух электродвигателей. Роторы вращаются в противоположных направлениях с суммарной линейной скоростью 450 м/с. В дезинтеграторах частицы измельчаемого материала получают при скорости более 250 м/с удары на порядок большей силы, чем в шаровых мельницах.

Исходный материал подвергают классификации по классу -20мм и дозатором непрерывного действия подают в дезинтеграторную установку.

Обработанный материал с воздухом высасывается в бункер-успокоитель, где он отделяется от пылевидных фракций. Воздушный поток, содержащий пыль, выбрасывается из верхней части бункера-успокоителя и направляется в циклон, где пыль отделяется от воздуха и возвращается обратно. Материал из бункера-успокоителя дозируется шнековым дозатором

в пневмотранспортную систему и сжатым воздухом подается в расходный бункер, затем на расфасовку или в технологический процесс. При необходимости, например, для активации гранулированных шлаков, в рабочий орган дезинтегратора подают воду, а продукт дезинтеграции используют в виде смеси с водой или раствора.

Промышленные дезинтеграторные установки снабжены металлоуловителями, питателем с регулируемой подачей воздуха в рабочую камеру и предназначены для сухого размола, но могут работать и в водном режиме,

Эффективность работы дезинтегратора определяют выходом фракции крупностью  $-0,08$  мм.

Для радикального изменения свойств измельчаемых материалов применяют универсальные дезинтеграторы, в которых твердые тела разрушаются по поверхностям спайности под действием мощных ударов рабочих органов. После обработки в дезинтеграторах многофазных материалов улучшается качество и повышается выход активного продукта.

Дезинтегратор ДУ-65 применяют на рудниках для измельчения и активации добавок к цементу.

Для обработки шлака применяют в основном 4-рядные лопастные роторы с негативным защитным слоем, а также 3-рядные лопастные самофутерующиеся роторы. Ориентировочный удельный расход металла составляет  $0,24$  кг на  $1$  т гранулированного шлака. Использование активированных шлаков при закладочных работах позволяет снизить расход цемента М400 на  $1$  м<sup>3</sup> смеси в  $2,5$  раза.

Для сверхтонкого помола применяются бисерные мельницы. Наиболее производительные из них – дисковые центробежные, в которых рабочим элементом является диск, установленный на вертикальной оси с небольшим наклоном, вращающийся внутри рабочей камеры, заполненной измельчающей средой – бисером. В качестве материала для измельчающей среды использовали стеклянные шарики крупностью  $1360$  мкм, шарики

карбида вольфрама крупностью 1500 мкм и шарики циркона крупностью 500; 800 и 1300 мкм. Измельченный материал после выхода из мельницы имеет крупность зёрен 50% класса 1 мкм.

Анализ закладочных комплексов на рудниках показал, что принципиально их конструктивное оформление и технология приготовления ЛТС отличается не существенно. Закладочные комплексы на рудниках Финляндии, Канады, Польши, Австралии, Ирландии включают в схему дополнительные устройства для перемешивания и гомогенизации ЛТС перед подачей в трубопровод [1-69].

От выбранных способов и параметров доставки закладочных смесей зависит качество возводимого искусственного массива. Широкое распространение получило транспортирование закладочной смеси самотечным и самотечно-пневматическим способами.

Существующая традиционная технология трубопроводного транспорта ЛТС требует существенного усовершенствования. Важной задачей является создание способов и средств управления реологическими свойствами смесей. Это позволит повысить надежность трубопроводного транспорта и сохранить приданные, технологически необходимые реакционные свойства ЛТС до твердения в выработанном пространстве.

Анализируя существующий опыт закладочных работ [36-69], можно сделать вывод, что расширению области использования систем разработки с закладкой твердеющими смесями будет способствовать вовлечение в производство дешевого вяжущего и заполнителя на основе отвальных продуктов. Это шлаки и шламы металлургических и машиностроительных заводов, хвосты обогащения и породы вскрыши, золы уноса и шлаки теплоэнергетики.

Известно [70-78], что при измельчении материалов их энергетический уровень и реакционные свойства заметно возрастают. Такое повышение физико-химической активности продуктов измельчения является следствием



механоактивации. Однако существующее оборудование закладочных комплексов не обеспечивает достижение этих эффектов.

В производстве ЛТС измельчение и перемешивание шихты является важнейшими технологическими процессами. От способа, места и вида смешивания компонентов закладки зависят ее физико-механические свойства, влияющие на состояние смеси и качество возводимого массива. Поэтому наряду с важным значением компонентов, входящих в состав ЛТС, на ее свойства определяющее влияние оказывает технология ее производства и вид применяемого при этом оборудования [70-87].

Практически все действующие сегодня в горной промышленности закладочные комплексы работают в непрерывном режиме приготовления твердеющих смесей. При этом дробление и измельчение материала закладки производят на стадии подготовки шихты. Опыт применения таких технологий на ЗК рудников показал, что не достигается повышения активности исходных материалов, прочностные и реологические характеристики. Значительная масса используемого цемента не участвует в реакции гидратации. Ядра зерен более 10 мкм остаются несмоченные водой, играя роль микрозаполнителя.

Основным направлением снижения себестоимости закладочных работ является использование отвальных продуктов различных производств в качестве вяжущих и заполнителей. Механические свойства конкретного состава твердых ингредиентов ЛТС могут существенно меняться от режима их активации и водосодержания, определяющих прочность и транспортабельность твердеющих смесей.

Разработка технологии приготовления закладки с использованием хвостов обогащения позволит, не только снизить издержки производства горных предприятий, но и повысить экологическую безопасность добывающих минеральное сырье регионов.

#### **1.4. Обоснование рациональных способов воздействия на материалы твердеющих смесей с использованием мелкодисперсных хвостов обогащения**

Особенностью сульфидных хвостов как наполнителя при приготовлении твердеющих видов закладки является высокое содержание серы до 30-35% и значительное содержание (до 35-40%) шламов с крупностью частиц менее 44 мкм.

Впервые затвердевающая сульфидная закладка была применена на рудниках Канады в 1935 г.

Установлено, что природные сульфиды вследствие их химического и минерального состава проявляют различную активность. Их состояние определяется процессом окисления, который неодинаков для различных сульфидных минералов и зависит от физических условий его протекания.

Интенсивность окисления сульфидов зависит главным образом от количества кислорода и воды. Она ускоряется или замедляется при изменении соотношений этих компонентов.

Все вяжущие вещества, затвердевающие в процессе гидратации или окисления, вызывают повышение температуры.

В случае применения сульфидных материалов температура закладочного массива зависит от их активности, тонкости измельчения и качества, а также от равновесия между энергией, освобожденной и рассеянной в процессе окисления. Температура нагревания в течение окисления контролируется регулированием скорости химической реакции и увеличением рассеивания тепла.

Самозатвердевание отдельных сульфидов при окислении проявляется в наибольшей степени при наличии пирротина. Однако не все типы пирротинов являются вяжущими.

Их эффективность зависит от естественной активности и может изменяться под воздействием как физических, так и химических факторов.

Скорость процесса затвердевания определяется такими факторами как

минеральное строение и тонкость измельчения, и может быть изменена добавлением других сульфидов или щелочных пород.

Окисление пирротина способствует относительно быстрому образованию окисленного материала, содержащего гидрат окиси железа и различные сульфаты, которые образуют смешанные кристаллические сростания, цементирующие сульфидные частицы повышающие прочность закладки.

То есть когда эти процессы происходят между закладочным материалом и сульфидными частицами, возникает сцепление. Плотная укладка материала в смесях оптимального состава создает хорошие контакты между частицами, являющиеся в дальнейшем кристаллическими центрами новообразований разрастающейся кристаллической решетки создаваемого массива.

На Учалинском руднике хвосты являются отходом процесса флотации сульфидных руд. Процесс флотации протекает в щелочной среде и хвостовая пульпа сбрасывается в хвостохранилище с  $\text{pH}=11$ . Щелочность воды в хвостохранилище постепенно уменьшается за счет выщелачивания серы из хвостов, но в целом она остается слабощелочной, что позволяет использовать ее на обогатительной фабрике в качестве оборотной технологической воды. В отдельные моменты, при большом поступлении кислых подотвальных вод в хвостохранилище, вода в нем может стать слабокислой с  $\text{pH}=6,7$ .

Таким образом, хвосты, поступающие на закладочном комплексе в смеситель, в момент приготовления твердеющей смеси будут иметь щелочную или слабокислую реакцию, что не скажется отрицательно на схватывании и начальном периоде твердения.

Однако, в процессе твердения возможно выщелачивание серы из материала хвостов, что может привести к образованию существенно кислой среды и в результате к прекращению процесса твердения. Поэтому на руднике был проведен эксперимент по установлению характера изменения среды хвостов с течением времени.

Затвердевший в подземных условиях массив закладки, как правило, имеет влажность порядка 15%. Под длительным воздействием влаги происходит выщелачивание серы из материала хвостов с образованием серной кислоты. В строительной индустрии это явление недопустимо, т. к. образовавшаяся серная кислота длительное время воздействуя на бетон и особенно железобетон, отрицательно влияет на материал бетона, металлическую арматуру и в результате приводит к уменьшению прочности бетонных и железобетонных конструкций.

Следует отметить, что этот процесс достаточно длительный и может существенно влиять на состояние строительных конструкций, срок службы которых рассчитан на десятилетия. Сохранение прочности закладочного массива необходимо на период от 1 до 5 лет, пока не будет отработана соседствующая с ним руда. За пределами этого срока вопрос о прочности закладочных массивов теряет свой смысл. За указанный период закладочный массив, даже в случае образования в нем кислой среды, не потеряет своей прочности, что подтверждается практикой рудников, применяющих хвосты обогащения сульфидных руд для закладки. Наиболее показателен опыт рудника Пюхасалми, где хвосты содержат 32,9% серы, что сопоставимо с хвостами Учалинской ОФ. Исследования влияния серы показали, что ионная сернистая коррозия при крупномасштабных закладочных работах не проявляется, однако она представляет проблему для торкретирования.

Результаты лабораторных исследований УГОКа показали, что использование хвостов обогащения позволяет получить составы закладки, по прочности и удельному расходу вяжущего равноценные применяемым в настоящее время составам закладки на основе молотого диабаз.

С экономической точки зрения использование хвостов предпочтительнее, т. к. это позволяет уменьшить затраты на подготовку инертного материала для закладки и в некоторой степени сократить затраты на эксплуатацию хвостохранилища, повысить экологическую безопасность района.

Лабораторные исследования хвостов, отобранных с пляжа хвостохранилища, показали, что в момент приготовления закладки водная суспензия хвостов была нейтральной, а с течением времени она становилась слабокислой, но при этом водородный показатель не достигал предельных значений, регламентированных ГОСТ для бетонов.

Следовательно, высокое содержание серы в хвостах не создает условий, препятствующих процессам твердения закладки или ведущих к интенсивному разрушению затвердевшего закладочного массива.

### **1.5. Цель и задачи исследования**

Целью исследования является разработка технологии закладки выработанного пространства твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ–2).

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Установить закономерности повышения прочностных и реологических свойств литых твердеющих смесей (ЛТС) с использованием хвостов обогащения и выбрать рациональный способ воздействия на материалы исследуемых смесей, обеспечивающий прочностные, реологические свойства, требуемые технологией возведения искусственного массива при закладке выработанного пространства.

2. Разработать установку для активации и гомогенизации компонентов литых твердеющих смесей на основе выбранного способа воздействия и определить механизм набора прочности литых твердеющих смесей при существующих и разработанной технологиях приготовления.

3. Разработать и рекомендовать технологию закладочных работ с использованием хвостов обогащения.

## **2. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

### **2.1. Подбор составов закладочных смесей для проведения лабораторных исследований**

С целью изучения закономерности повышения прочностных и реологических свойств ЛТС с использованием хвостов обогащения и обоснования рационального способа воздействия на материалы твердеющих смесей в работе проведены исследования в условиях закладочного комплекса шахты «Комсомольская» рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель».

Шахта «Комсомольская» входит в состав рудника «Комсомольский» и отрабатывает медно-никелевые руды Талнахско-Октябрьского месторождения слоевой и камерно-целиковой системами разработки с последующей закладкой выработанного пространства твердеющими смесями, с применением самоходного погрузочно-доставочного, бурового и вспомогательного оборудования.

В настоящее время объектом отработки являются три промышленных типа руд: сплошные (богатые), медистые (вкрапленные и прожилково-вкрапленные в породах, вмещающих интрузию) и вкрапленные. Сплошные руды образуют пологопадающие линзо- и пластообразные залежи различной мощности от 3-4 м до 15-20 м. Они локализованы по нижнему контакту интрузии, реже в её приподошвенной части или в постилающих породах в непосредственной близости от интрузии. По преобладающему минералу различаются пирротиновые, халькопиритовые (талнахитовые, моихукитовые), кубанитовые руды.

Для отработки запасов поля шахты «Комсомольской» применяются сплошные слоевые и камерные системы разработки с закладкой

выработанного пространства.

Анализ составов твердеющей закладки зарубежных и отечественных рудников показал, что наиболее часто используют в качестве вяжущих материалов – цемент, шлак, пирротин, хвосты обогащения. Из инертных заполнителей распространены хвосты обогащения, песок, отвальная горная порода, щебень, гравий, известняк, шлак и др.

С целью изучения технологий приготовления закладочных смесей с использованием мелкодисперсного заполнителя (хвостов обогащения), проведены исследования составов твердеющих закладочных смесей по двум способам:

Приготовления твердеющих смесей с использованием лопастного смесителя;

Приготовления твердеющих смесей с использованием шаровой мельницы.

Главными критериями выбора состава твердеющей закладки являются технологичность (прочность, транспортабельные свойства) и экономичность (стоимость компонентов закладки, транспортные затраты). Опыт производства закладочных работ свидетельствует о прямо пропорциональной зависимости увеличения прочности закладочного массива от расхода вяжущего вещества.

Перед подбором составов закладочных смесей были проведены исследования по определению фактического содержания воды в породной части хвостов, отбираемых из проб, для проведения лабораторных испытаний. Полученные результаты важны для дальнейшего расчета необходимого количества воды при затворении образцов [88-90].

При этом была отобрана проба хвостов, определены ее объем и плотность. Затем из пробы была выведена вода высушиванием и определена масса на электронных весах (точность измерения 0,1 г), объем и плотность сухих хвостов. Плотность сухих хвостов составила 1,82 г/см<sup>3</sup>.

Далее в высушенные хвосты постепенно добавляли воду. В каждой серии фиксировались: количество добавленной воды, объем пробы и ее вес, определялась плотность жидких хвостов. По результатам исследований составлена диаграмма для определения количества воды в хвостах, содержащихся в отобранной пробе, в зависимости от ее плотности (рисунок 2.1).

Минимальное значение плотности –  $1,82 \text{ г/см}^3$  внизу графика соответствует значению плотности насыпных хвостов после их обезвоживания. Постепенное добавление воды приводит к заполнению пор предварительно сухого состава хвостов при одновременном уменьшении объема пробы за счет растекания увлажненных частиц. Это приводит к увеличению плотности увлажненных хвостов. Плотность увеличивается до максимального значения, которое соответствует стадии максимального смачивания хвостов. По данным лабораторных исследований плотность при этом составляет  $2,28 \text{ г/см}^3$ .

Затем, при появлении воды, покрывающей объем полностью смоченной пробы, плотность влагосодержащих хвостов начинает равномерно уменьшаться. График построен до плотности хвостов  $1,2 \text{ г/см}^3$ , которая соответствует предельно – минимальной плотности хвостов, поступающих в бак приема хвостов на закладочном комплексе.

На основании полученной зависимости определяется фактический объем воды в одном литре хвостов (рисунок 2.2) и необходимое количество воды для подбираемого состава закладочной смеси. График зависимости построен для реальных условий (плотность хвостов, подающихся на производство закладочных смесей, должна быть не менее  $1,2 \text{ г/см}^3$ ).

Учитывая, что зависимость изменения плотности влагосодержащих (текучих) хвостов от количества воды в одном литре должна иметь прямолинейный характер, в качестве расчетной графической зависимости принята прямая.



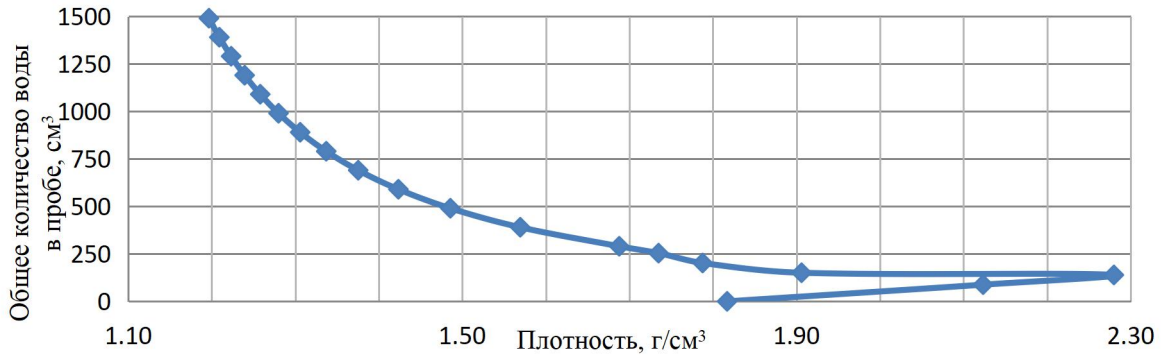


Рисунок 2.1 - Зависимость количества воды в пробе хвостов ТОФ от их плотности

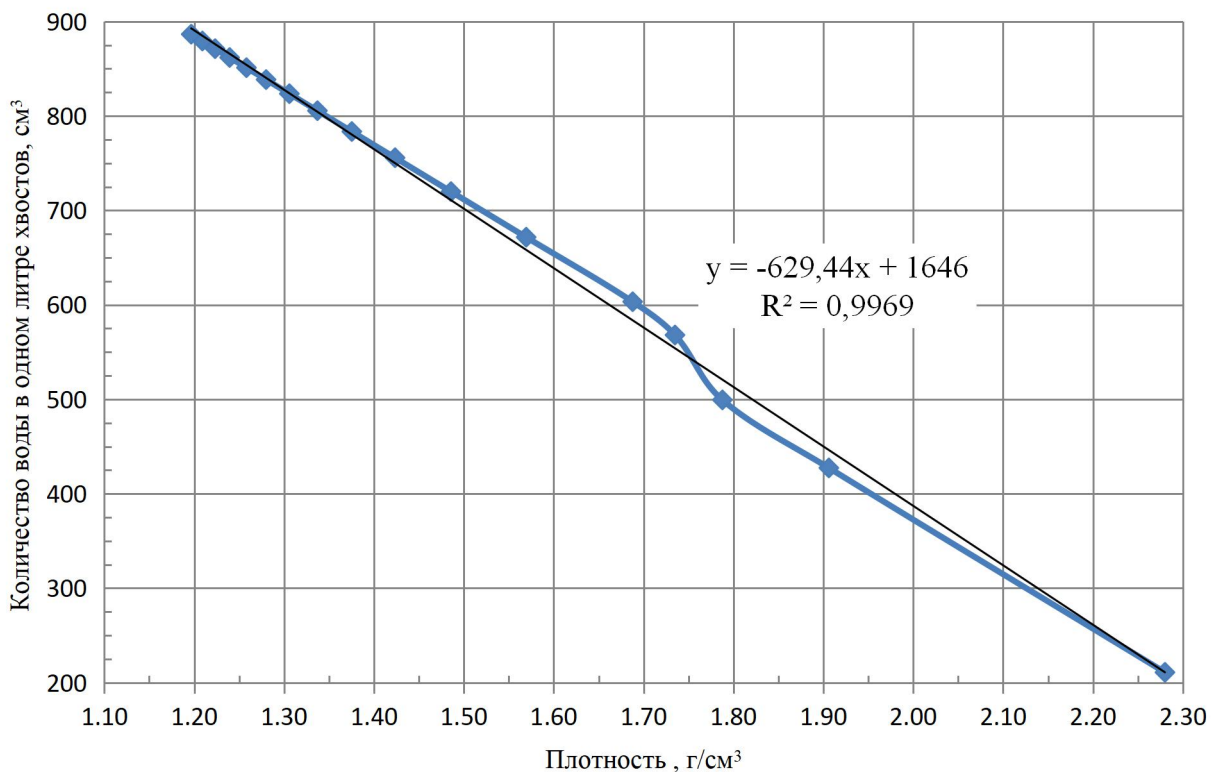


Рисунок 2.2 - Зависимость количества воды в 1 литре хвостов ТОФ от их плотности

При этом зависимость количества воды в 1 литре хвостов,  $\text{см}^3$  - (В) от плотности влагосодержащих хвостов ( $\gamma$ ) определяется по формуле

$$B = - 629,4\gamma + 1646. \quad (2.1)$$

Данная формула применима в интервале  $2,28 \text{ г/см}^3 > \gamma > 1,2 \text{ г/см}^3$ .

Основные требования к закладке - удовлетворительная кинетика твердения закладочного бетона и реологические свойства, обеспечивающие нормативные прочности, транспортировку смесей по

подземным бетоноводам и равномерную укладку в выработанном пространстве по всей их протяженности и объемам.

В качестве вяжущего материала для приготовления закладочных смесей используется портландцемент М300, М400 или М500 по ГОСТ 30515-97, ГОСТ 10178-85.

Характеристики цемента: истинная плотность - 3,09т/м<sup>3</sup>; тонкость помола, - 85% от массы пробы; содержаниеSO<sub>3</sub> - не менее 1%, не более 3,5%; прочность при изгибе/сжатии, МПа: в возрасте 28-ми суток - 5,2/38,2; сроки схватывания, час/мин: (начало/конец) - 2<sup>35</sup> /3<sup>35</sup>.

Ангидрит используется в качестве слабовяжущего материала, позволяющего уменьшить расход цемента и улучшить при этом реологические свойства составов смесей. Химический состав ангидрита показан в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Химический состав ангидрита

Окислы	Содержание, %
H <sub>2</sub> O	1,08
SiO <sub>2</sub>	6,32
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35
CaO	35,42
MgO	2,97
S <sub>0</sub> <sub>3</sub>	45,25

Истинная плотность - 2,84 т/м<sup>3</sup>. Компонентный состав: карбонаты Ca и Mg – 12%, ангидрит + гипс – 78%, глинистые - 9,5%.

Вещественный состав и истинная плотность породных хвостов, получаемых в настоящее время на ТОФ, а также качественно - количественные показатели в отвальном продукте, выделенном из смеси медистых и вкрапленных руд, представлены в таблице 2.2.

В таблице 2.3 приведены содержания и распределения цветных металлов, серы, железа и породы по классам крупности в породных хвостах ТОФ, выделяемых из шихты богатых медно-никелевых руд.

Компоненты смеси обладают различными физико-механическими свойствами, гранулометрическим составом, в том числе измельчаемостью и способностью к тонкому диспергированию в водной среде. Кроме этого при подаче компонентов в лопастной смеситель или мельницу, при подготовке их к измельчению, образуется различное количество узких фракций крупности, измельчаемость которых, так же различна. Поэтому определение закономерности совместного измельчения поликомпонентных по составу и крупности продуктов твердеющей закладки сводится так же к оценке взаимного влияния крупности и содержания разнопрочных и разноплотных материалов на общие показатели их совместного измельчения, набор прочности по контрольным срокам твердения приготовленной смеси и ее транспортабельность по трубопроводному транспорту.

Таблица 2.2 - Истинная плотность, вещественный и химический составы породных хвостов ТОФ

Показатель	Значения показателей для породных хвостов, выделенных		
	из шихты богатых руд		из медистых и вкрапленных руд
	общие	песковая часть	
Выход от руды, %	25,0	20,0	85,0
Содержание, %:			
никеля	0,35	0,25	0,10
меди	0,08	0,07	0,12
серы	7,17	6,10	2,95
железа	26,90	26,87	4,99
кобальта	0,021	0,018	0,006
оксидов: кремния	28,29	29,15	32,61
кальция	8,67	8,94	22,15
магния	5,51	5,75	10,37
алюминия	7,73	7,87	7,41
Массовая доля, г/т:			
халькопирита	Следы	Следы	0,64
пентландита	0,80	0,70	0,42
пирротина	12,49	8,0	0,84
магнетита	13,14	17,4	0,51
породы	73,57	73,9	97,59
платины	0,26	0,20	0,32
палладия	0,87	0,76	0,98
родия	0,11	0,095	0,032
рутения	0,044	0,036	0,0106
суммы платиноидов	1,284	1,091	1,3426
золота	0,034	0,031	0,101
Среднее значение истинной плотности, т/м <sup>3</sup>	3,36	3,38	2,89

Таблица 2.3 - Содержание и распределение цветных металлов, серы, железа и породы в породных хвостах ГОФ, выделяемых из шихты богатых медно-никелевых руд

Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля, %					Извлечение, %				
		никель	медь	сера	Железо	порода	никель	медь	сера	железо	порода
Более 0,140	11,24	0,23	0,15	3,39	13,00	83,23	7,85	21,13	5,47	5,45	14,21
менее 0,140, но более 0,100	9,85	0,26	0,07	4,62	18,73	76,32	7,76	8,63	6,53	6,89	11,42
менее 0,100, но более 0,074	12,03	0,27	0,05	5,68	23,09	70,91	9,85	7,50	9,80	10,37	12,96
менее 0,074, но более 0,063	9,66	0,26	0,04	5,89	30,56	63,25	7,61	4,88	8,16	11,02	9,28
менее 0,063, но более 0,045	7,88	0,22	0,04	5,25	33,44	61,05	5,24	4,00	5,94	9,84	7,31
менее 0,045, но более 0,030	22,51	0,29	0,07	9,70	39,64	50,30	19,79	19,75	31,33	33,31	17,20
менее 0,030, но более 0,019	6,00	0,19	0,06	3,78	17,55	78,42	3,45	4,50	3,25	3,93	7,15
менее 0,019, но более 0,010	4,56	0,18	0,06	4,23	18,23	77,30	2,48	3,38	2,77	3,10	5,35
Суммарный класс более 0,010	83,73	0,25	0,07	6,10	26,85	66,73	64,03	73,77	73,25	83,91	84,88
менее 0,010	16,27	0,73	0,13	11,46	26,49	61,19	35,97	26,23	26,75	16,09	15,12
Исходная проба	100,0	0,33	0,08	6,97	26,79	65,83	100,00	100,00	100,0	100,0	100,0

Содержание твердого в пульпе определяется, исходя из обеспечения необходимой подвижности закладочной смеси при транспортировании ее по трубам. Для определения подвижности смеси необходимо отбирать пробы. Величина расплыва по Суттарду должна быть не менее 180 мм.

В работе использован комплексный физико-химический метод исследования структуры вещества для установления структурных особенностей в твердеющей закладке и влияния вяжущего материала на свойства и прочность искусственного массива.

Для определения химических соединений в исходных компонентах закладки и затвердевшей ее фазе используем методы рентгенофазового анализа. Это позволит с получить данные о минеральном составе, структуре, форме ангидрита, хвостов обогащения, а также о химическом составе и форме кристаллических новообразований в образцах затвердевшей закладки.

После затворения закладочных компонентов водой происходят процессы структурообразования. Следовательно, химический состав исходных материалов и продуктов гидратации оказывает влияние на прочность искусственного массива, которая увеличивается за счет структурных изменений, что требует изучения.

Исследования микроструктуры, а также фазового и количественного состава компонентов твердеющей закладки и искусственного камня осуществляли при помощи растровой электронной микроскопии.

Для установления степени влияния мелкодисперсных частиц на структурные и прочностные особенности твердеющей закладки исследовались вышеуказанными методами пробы ангидрита, хвостов обогащения, изломы образцов закладочного массива.

Методика проведения лабораторных исследований предусматривает изучение свойств исследуемых составов, их прочностных характеристик на

основании новообразований в процессе гидратации. Испытание составов твердеющих закладочных смесей планируется проводить по следующим схемам:

- схема приготовления твердеющих смесей ХЦ и АХЦ в лабораторных условиях с использованием лопастного смесителя;

- схема приготовления твердеющих смесей ХЦ и АХЦ в лабораторных условиях с использованием шаровой мельнице.

Состав материалов на 1 м<sup>3</sup> закладочной смеси рассчитывают из выражений:

- при составах ХЦ

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{X}{\gamma_{x}} + B = 1, \quad (2.2)$$

- при составах АХЦ

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{X}{\gamma_{x}} + \frac{A}{\gamma_{A}} + B = 1, \quad (2.3)$$

где Ц, X, A и B – содержание цемента, хвостов обогащения ТОФ, ангидрита и воды, т/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{ц}$ ,  $\gamma_{x}$ ,  $\gamma_{A}$  – удельный вес цемента, хвостов, ангидрита, т/м<sup>3</sup> (таблица 2.4).

Таблица 2.4 - Основные физические характеристики материалов, применяемых для приготовления закладочных смесей:

Наименование материала	Удельный вес, т/м <sup>3</sup>	Объемный насыпной вес, т/м <sup>3</sup>
Цемент	3,08-3,1	1,1-1,3
Ангидрит	2,8-2,9	1,7-1,9
Породные хвосты	2,7-3,3	1,7-2,1

Удельное количество цемента в составах ХЦ, исследуемых через перемешивание в лопастном смесителе и при использовании шаровой мельницы, принято: 170; 240; 320; и 400 кг/м<sup>3</sup>.

Для исследования составов АХЦ, приняты составы с расходом цемента 170; 240 и 320 кг/м<sup>3</sup>, ангидрита – 400 и 600 кг/м<sup>3</sup>.

## **2.2. Лабораторные исследования закладочных смесей с использованием хвостов обогащения**

Подготовка и исследования закладочных смесей проводились в соответствии ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний и ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

Для испытания приготовляемой закладочной смеси на сжатие подготавливались образцы-кубики размером 10x10x10 см.

Для достоверности результатов исследования необходимо определить достаточное количество экспериментов. Под этим понимается количество испытуемых образцов твердеющей закладки при одинаковом составе закладочной смеси. Средняя прочность на сжатие трех образцов-кубов рассматривается как прочность закладки при условии, что коэффициент вариации значений не превышает 20 %. Следовательно, достаточное количество образцов одного состава составляет 3.

Образцы изготавливались и испытывались сериями. Для построения графиков твердения закладки, испытания образцов, производились за периоды твердения 3, 7, 28, и 90 суток.

Пробы для изготовления образцов-кубиков на каждом текущем этапе лабораторных исследования отбирались на выходе из лопастного смесителя и мельницы ёмкостью 2 л.

После перемешивания закладочные смеси исследовались на схватываемость, подвижность, предельное напряжение сдвига.

Методика исследования параметров твердеющей закладки заключается в использовании нормативных документов. Согласно принятым стандартам определялись подвижность, сроки схватывания, предельное напряжение сдвига и прочность закладки. Подвижность, предельное напряжение сдвига, прочность на одноосное сжатие устанавливались в соответствии со стандартной методикой.

Подвижность смеси устанавливалась с помощью прибора конус

СтройЦНИЛА. Измерялась глубину погружения конуса в закладочную смесь. Предельное напряжение сдвига смеси определялось с помощью прибора Штернбека. Скорость схватывания смеси определялась при помощи прибора Вика согласно ГОСТ. Измерялась глубину погружения иглы в закладочную смесь.

Отобранной пробой заполняли специальные формы, перед использованием которых их внутренние поверхности покрывались тонким слоем смазки (дизельное топливо, моторное или индустриальное масло), не оставляющей пятен на поверхности образцов. После укладки смеси в форму верхнюю часть образца заглаживали мастерком.

Непосредственно после изготовления образцов-кубиков в формах их маркировали и переносили в хранилище.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их извлечения хранились в формах, покрытых влажной тканью, исключающей возможность испарения из них влаги, в помещении с температурой воздуха  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

При определении прочности образцов на сжатие их извлекали из форм не ранее чем через 48-72 часа. После этого образцы помещались на стеллажи и хранились до испытаний при той же температуре  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $95\pm 5\%$ . В этих условиях образцы были выдержаны до испытания в разопалубленном виде.

Перед испытанием образцы осматривались, устанавливая наличие дефектов в виде сколов рёбер, раковин и инородных включений.

Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а также следы расслоения, испытанию не подлежали. Наплывы затвердевшей смеси на рёбрах опорных граней образцов были удалены.

На образцах выбирали и отмечали грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. Опорные грани образцов-кубиков,



выбирались так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки закладочной смеси в формы.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку.

Прочность образцов-кубиков при сжатии определялась как среднее арифметическое значение в серии из трёх образцов по двум наибольшим по прочности образцам.

Прочность образцов-кубиков при сжатии вычисляется с точностью до 0,1 МПа для каждого образца по формуле:

$$\sigma_{\text{куб}} = \frac{P}{S} 0,1, \text{ МПа} \quad (2.4)$$

где  $\sigma_{\text{куб}}$  – прочность закладки в соответствующем возрасте набора прочности, МПа;  $P$  – разрушающая нагрузка, кг;  $S$  – средняя рабочая площадь образца, см<sup>2</sup>.

### Исследования составов ХЦ с использованием лопастного смесителя

Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки была создана установка (рисунок 2.3) [91].



Рисунок 2.3 - Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием лопастного смесителя

Лабораторные испытания составов ХЦ проводились с применением лопастного смесителя лопастного типа объемом 50 л.

Время смешивания во всех экспериментах принято 10 минут. Сразу после окончания смешивания производилось определение растекаемости смеси по Суттарду (рисунок 2.4) и измерялась ее плотность.

Исследуемые составы, удельный расход материалов, плотность твердеющей смеси, ее транспортабельность и контрольные характеристики прочности представлены в таблице 2.5. Кинетика твердения составов ХЦ с применением лопастного смесителя изображена на рисунке 2.5. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рисунке 2.6.

Средние показатели напряжения сдвига не превышают 0,95 МПа, а подвижность составляет 10 – 12 см, время схватывания 12ч.



Рисунок 2.4 - Определение растекаемости закладочной смеси (вискозиметр Суттарда)

Таблица 2.5 – Составы с использованием хвостов и цемента с применением лопастного смесителя (ХЦ)

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup> (л)			$\gamma_{\text{тв}}$ смеси, т/м <sup>3</sup>	Распływ по Сутгарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
1246	170	500	1,92	206	-	0,3	0,8	1,25
1183	240	500	1,92	225	0,3	0,55	1,5	2,1
1112	320	500	1,93	244	0,45	0,85	2,0	3,05
1039	400	500	1,94	246	0,75	1,35	3,1	4,0

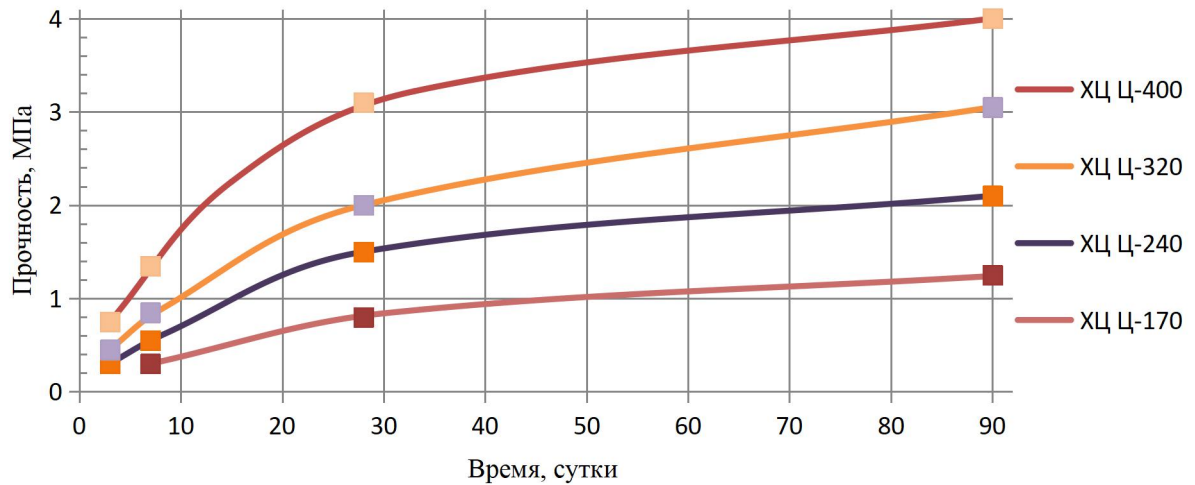


Рисунок 2.5- Кинетика твердения составов ХЦ с использованием лопастного смесителя





Рисунок 2.6- Испытание образцов на прочность составов ХЦ с использованием лопастного смесителя

### Исследования составов ХЦ с использованием шаровой мельницы

Лабораторные испытания составов ХЦ проводились с применением шаровой мельницы [91-93].

Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки была создана установка (рисунки 2.7, 2.8).

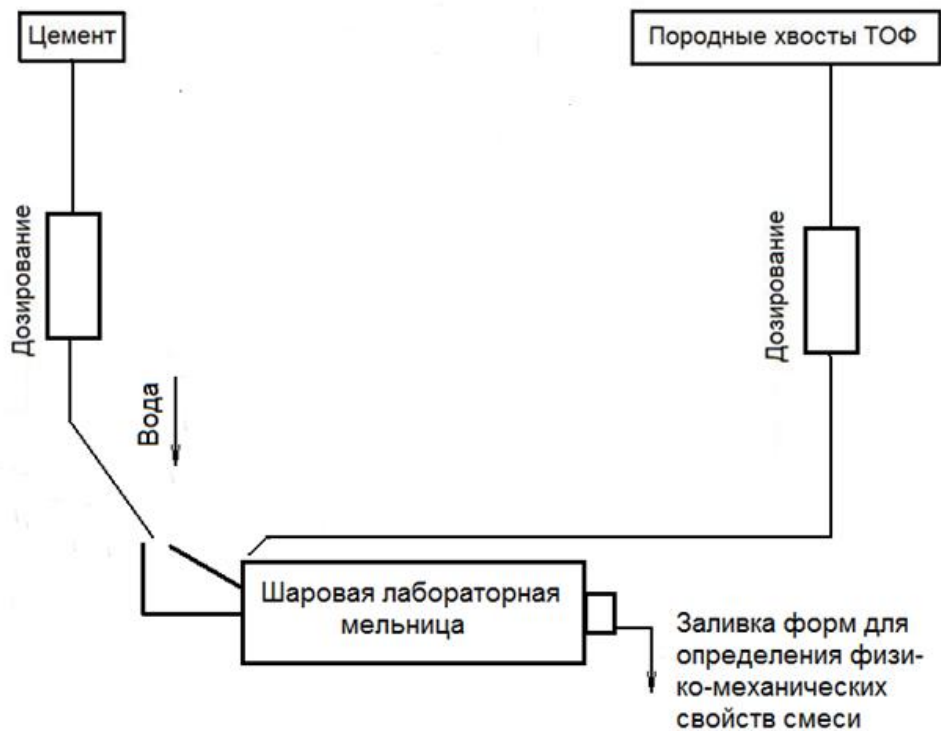


Рисунок 2.7 - Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием шаровой мельницы

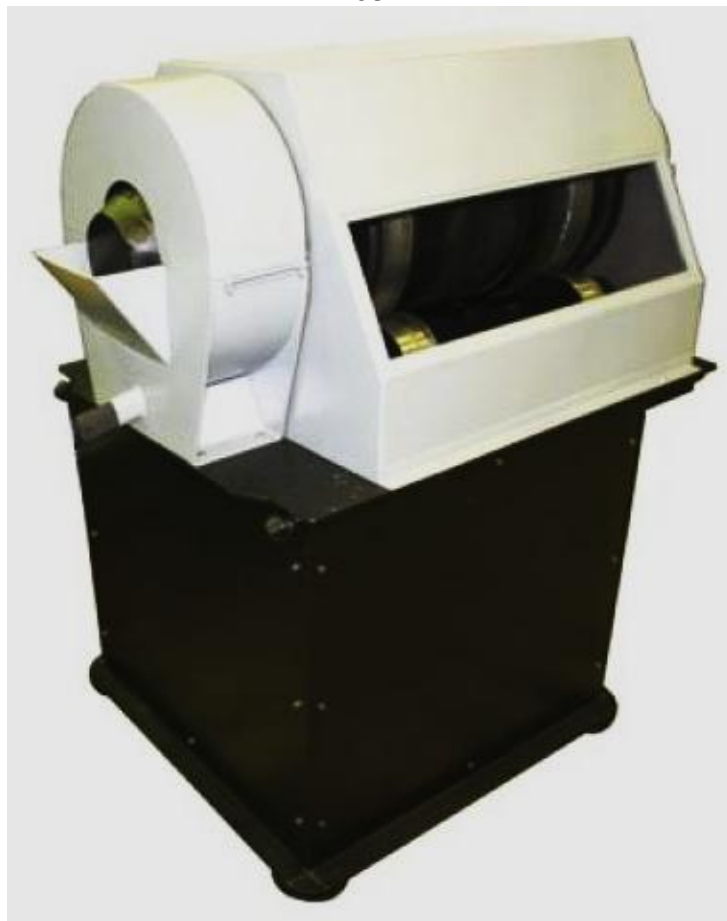


Рисунок 2.8 - Шаровая мельница МШЛ-50Н (48 МЛ)

Для помола в мельнице применялись цельбепсы (рисунок 2.9), каждый весом 120 г. Их объем принимался из расчета  $1/3$  от объема исследуемого состава смеси. При замешивании 25 литров смеси вес цельбепсов составил 39 кг.



Рисунок 2.9 – Цильбепсы

Время замешивания во всех экспериментах принято 10 минут. Составы и результаты исследований представлены в таблице 2.6. Кинетика твердения составов ХЦ с применением шаровой мельницы изображена на рисунке 2.10. Средние показатели напряжения сдвига не превышают 0,95 МПа, а подвижность составляет 10 – 12 см, время схватывания 12ч. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рисунке 2.11.

Таблица 2.6 – Составы с использованием хвостов и цемента с применением шаровой мельницы (ХЦ)

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup> (л)			$\gamma_{\text{тв}} \text{ смеси,}$ т/м <sup>3</sup>	Распływ по Суггарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
1246	170	500	1,92	200	-	0,35	0,95	1,5
1183	240	500	1,92	220	0,3	0,55	1,25	2,0
1111	320	500	1,93	240	0,6	1,2	2,25	3,3
1039	400	500	1,94	242	1,5	2,25	3,3	4,7

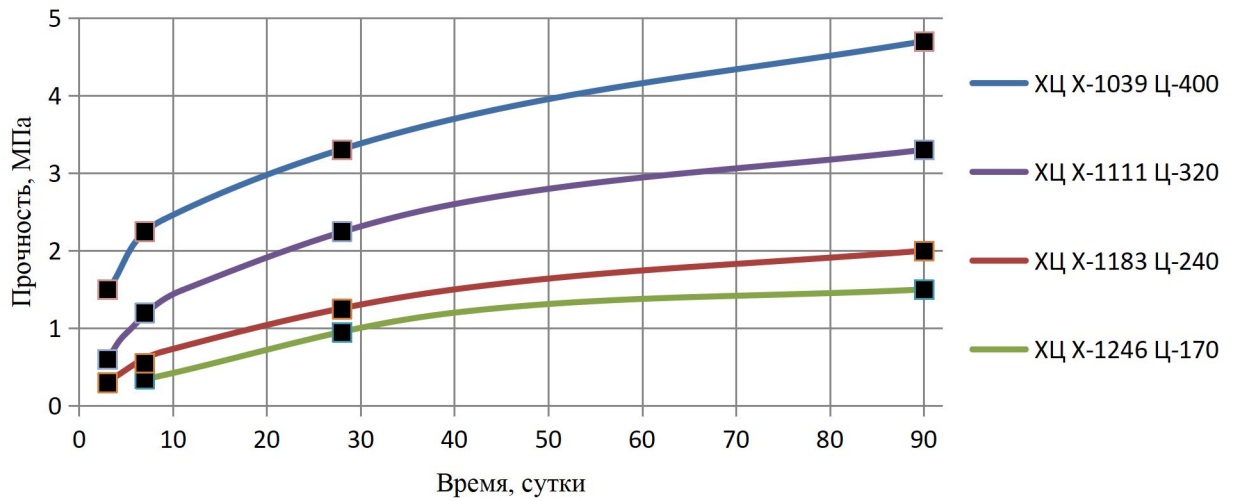


Рисунок 2.10 - Кинетика твердения составов ХЦ с использованием шаровой мельницы

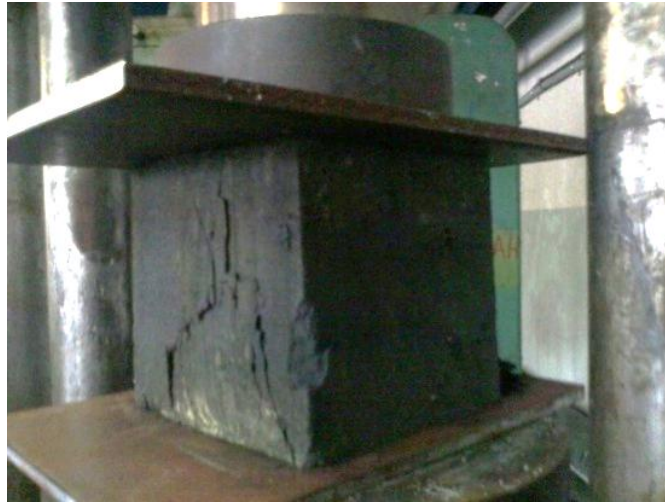


Рисунок 2.11- Испытание образцов на прочность составов ХЦ с использованием шаровой мельницы

## Исследования составов АХЦ с использованием лопастного смесителя

Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки была создана установка (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 - Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием лопастного смесителя

Для выполнения лабораторных исследований был получен ангидрит крупностью -100 мм. Предварительно ангидрит доводился до крупности -2 мм (таблица 2.7) в щековой дробилке (рисунок 2.13) и после грохочения использовался для приготовления закладочной смеси.





Рисунок 2.13 – Щековая дробилка

Таблица 2.7 – Результаты гранулометрического состава ангидрита

Классы крупности, мм	Выход щековая дробилка 2 мм	
	г	%
+2,5	27,7	2,77
+1,25	236,9	23,69
+0,5	239,7	23,97
+0,315	65,9	6,59
+0,16	132,4	13,24
-0,16	297,4	29,74
Итого	1000	100

Методика исследований составов АХЦ аналогична исследованиям составов ХЦ в лопастном смесителе.

Составы и результаты исследований представлены в таблице 2.8. Кинетика твердения составов АХЦ с применением лопастного смесителя

изображена на рисунке 2.14. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рисунке 2.15.

Таблица 2.8 – Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента с применением лопастного смесителя (АХЦ)

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup> (л)				$\gamma_{\text{тв}}$ смеси, т/м <sup>3</sup>	Расплав по Сутгарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	200		0,5	0,7	1,2
600	657	170	500	1,93	203		0,7	1,0	1,8
600	594	240	500	1,93	220	0,6	0,8	1,5	2,6
400	718	320	500	1,94	223	0,7	1,0	1,7	2,8
600	521	320	500	1,94	225	0,7	1,1	1,9	3,2

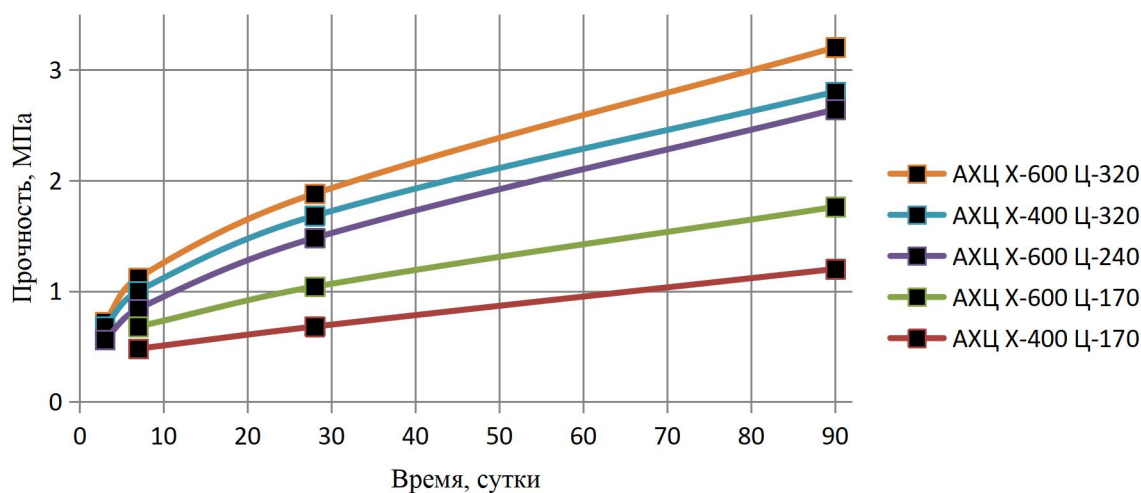


Рисунок 2.14 - Кинетика твердения составов АХЦ с использованием лопастного смесителя



Рисунок 2.15 - Испытание образцов на прочность составов АХЦ с использованием лопастного смесителя

### **Исследования составов АХЦ с использованием шаровой мельницы**

Методика исследований составов АХЦ аналогична исследованиям составов с использованием лопастного смесителя (рисунок 2.16).

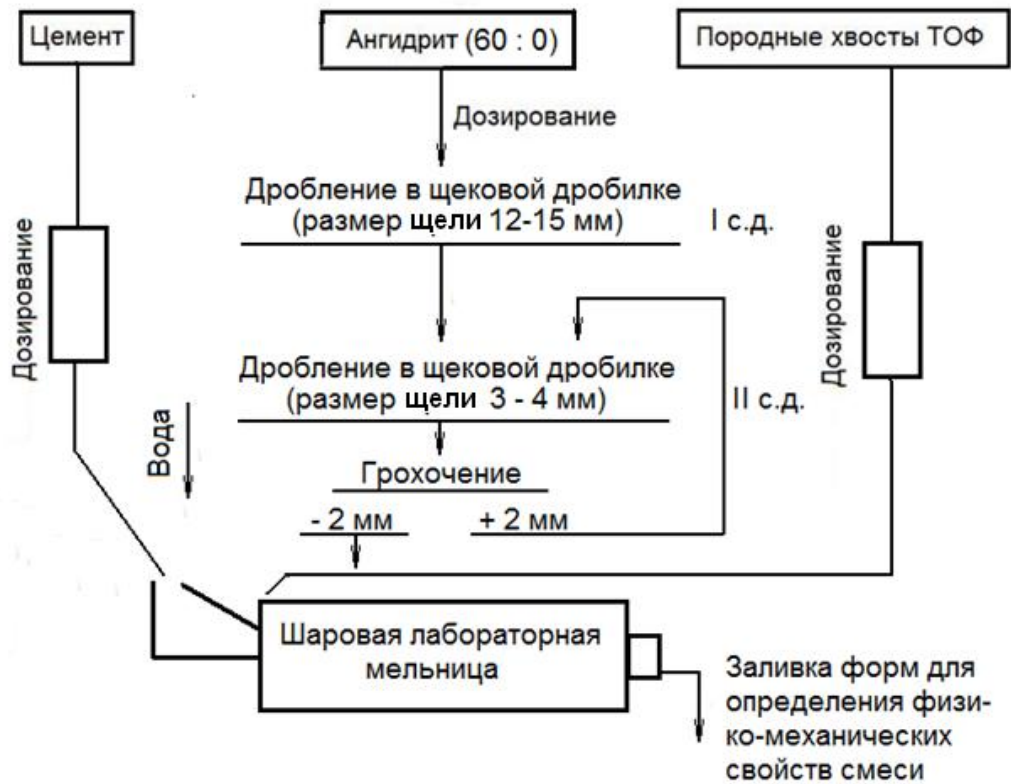


Рисунок 2.16 - Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием шаровой мельницы

Составы и результаты исследований представлены в таблице 2.9. Кинетика твердения составов АХЦ,готавливаемых в шаровой мельнице, изображена на рисунке 2.17. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рисунке 2.18.

Таблица 2.9 – Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента с применением шаровой мельницы (АХЦ)

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup> (л)				$\gamma_{\text{тв}}$ смеси, т/м <sup>3</sup>	Расплав по Сутгарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	195	-	0,6	0,85	1,5
600	657	170	500	1,93	198	-	0,85	1,3	2,2
600	594	240	500	1,93	215	0,7	1,05	1,85	3,3
400	718	320	500	1,94	218	0,85	1,25	2,1	3,5
600	521	320	500	1,94	220	0,9	1,4	2,35	4,0

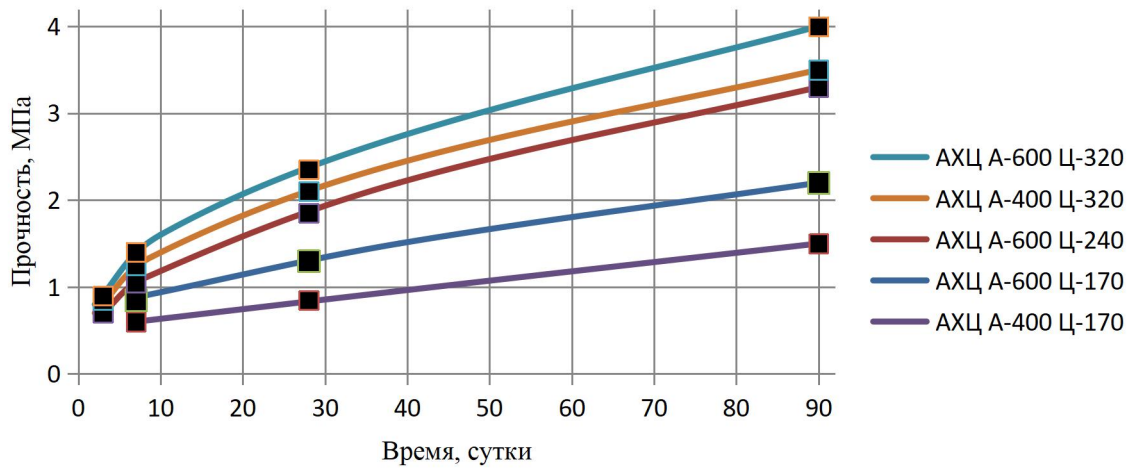


Рисунок 2.17 - Кинетика твердения составов АХЦ с использованием шаровой мельницы



Рисунок 2.18 - Испытание образцов на прочность составов АХЦ с использованием шаровой мельницы

При механическом воздействии на хвосты обогащения

свежеобразованная поверхность частицы имеет высокую реакционную способность, обусловленную накоплением поверхностной энергии. У новых свежеобразованных поверхностей значительно более высокие значения поверхностной энергии, что обуславливает их повышенную адгезионную активность. Особое энергетическое состояние новых поверхностей измельченных материалов можно объяснить образованием большого количества ненасыщенных валентных связей. Вода в закладочной смеси, вступая в контакт с трещинами и полостями поверхности тонкодисперсных частиц, способствует переводу катионов с поверхности в состояние раствора вследствие разрыва кремнекислородных связей.

В процессе гидратации будет формироваться гидросиликаты с преобладанием в структуре слабой ионной связи  $Ca-O$ . Это объясняет сравнительно невысокую прочность закладки при высоком расходе хвостов обогащения и ангидрита в составе смеси.

Можно сделать вывод, что удельная поверхность частиц оказывает влияние не только на увеличение числа контактов и плотность взаимодействия между частицами, но с позиции химических представлений – также и на конечный показатель основности  $CaO/SiO_2$ , который определяет прочность кристаллических образований.

Различия в составе и морфологии гидросиликатов могут быть объяснены неодинаковыми условиями гидратации и непрореагировавшими силикатами кальция, а также разной степенью дефектности частиц при измельчении. Следовательно, при тонкости измельчения 60 % частиц крупностью -0,074 мм рост кристаллических связей будет достаточно медленным.

Следовательно для большего разрушения количества связей  $Si-O$  необходимо увеличить степень дисперсности частиц, что также увеличит растворимость частиц силикатов кальция. Этому способствует появление микротрещин и дефектов в частицах при измельчении. В результате

вода имеет контакт со всеми поверхностями. Следовательно, формируется прочная структура гидросиликатов кальция, которые обладают большей закристаллизованностью. Более тонкий размол хвостов обогащения позволит высвободиться большему количеству ионов, что приведет к появлению в гидросиликатах прочных ковалентных связей.

В результате создаются условия для роста различных форм и структур гидросиликатов кальция, что приводит к повышению прочности. Тонкоизмельченная часть ангидрита, проявляет способность к гидратации.

Появление в образцах закладки сформировавшихся кристаллических структур оказывает положительное влияние на прочность искусственного массива. Следовательно, чтобы повысить прочность закладочного массива, необходимо создать прочные кристаллические связи в его структуре к моменту отработки. Известно что образование низкоосновных гидросиликатов кальция повышает прочность цементного камня, но при возникновении высокоосновных гидросиликатов его прочность снижается.

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением рассматриваемых технологий приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в смеситель и шаровую мельницу, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей [94].

Установлено, что составы АХЦ, твердеющие за счет кристаллизации в них ангидрита и новообразований, в процессе взаимодействия хвостов обогащения с цементом и ангидритом после активации, набирают максимум прочности (распределение фаз структурных образований представлено в таблице 2.10).

Таблица 2.10 – Распределение фаз структурных образований

Формула, минерал		Состав ХЦ, д.ед			Состав АХЦ, д.ед		
		Сутки твердения					
		3	7	28	3	7	28
SiO <sub>2</sub>	Quartz	4,2	6,1	8,4	4,7	6,2	9,8
CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Diopside	14,2	16,7	28,3	3,1	7,1	9,3
Ca(SO <sub>4</sub> ) (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	Gypsum	15,2	16,2	19,3	38,3	48,5	61,7
Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>12</sub> 26H <sub>2</sub> O	Ettringite	8,1	8,9	13,8	8,9	13,9	15,8

### 2.3. Выводы по главе

Анализ результатов исследований показал существенную зависимость прочности составов закладки с использованием хвостов обогащения и их транспортабельности от технологии измельчения и перемешивания компонентов смеси, позволил установить рациональный способ приготовления закладки в шаровых мельницах.

Основные закономерности при производстве ЛТС в шаровой мельнице совместного приготовления многокомпонентных твердеющих смесей, когда мельница является активным смесителем, заключаются в том, что во время измельчения и перемешивания смеси в водной среде формируется определенное соотношение активной гомогенной части компонентов закладки, которое влияет на ее прочностные и реологические свойства и управляется процентным содержанием компонентов в шихте закладки на входе в мельницу. Это позволяет заключить, что количественное и гранулометрическое соотношение компонентов в смеси закладки оказывает большое влияние на ее прочность и транспортабельность.

Технологии производства с использованием лопастного смесителя и шаровой мельницы позволяют обеспечить гидратирование компонентов смесей и протекание процессов кристаллизации. Однако при этом низкая интенсивность совместного перемешивания компонентов смеси не обеспечивает полную гомогенизацию материалов ЛТС с дисперсной частью хвостов обогащения, что ведет к повышению расхода дорогостоящего вяжущего и снижению набираемой прочности составами закладки.



Для обеспечения гомогенности и активности компонентов исследуемых составов ЛТС необходимо создать условия интенсивной обработки материалов, обеспечивающие эффективную гомогенизацию и активацию материалов ЛТС с использованием хвостов обогащения, проявление вяжущих свойств мелкодисперсных фракций хвостов обогащения и повышение вскрытия зёрен цемента в технологии их приготовления.

Активность вяжущего материала повышается с увеличением дефектности поверхности частиц. Это объясняется проникновением воды в частицы активного минерала по микротрещинам, способствуя полной гидратации. Изменение физических свойств материала связано с изменением формы частиц при тонком измельчении, где проявляется их остроугольность.

Наряду с удельной поверхностью частиц на прочность оказывает влияние и количество самих частиц, которое выражается в расходе закладочной смеси.

Средний диаметр частиц влияет на прочность. С уменьшением диаметра частиц возрастает полнота гидратации частицы. Так, фракции свыше 30 мкм являются инертными и в процессе фазовых превращений и новообразований не участвуют, а служат заполнителем для искусственного массива.

Из этого следует, что увеличение удельной поверхности частиц приводит к повышению прочности композиций. При механоактивации диапазон измельчения материалов по удельной поверхности в среднем составляет от 2000 до 10000 см<sup>2</sup>/г. В тоже время отмечается неравномерный характер повышения прочности, что обусловлено разным химико-минералогическим составом исходных компонентов, условиями приготовления.

Химико-минералогический анализ закладочных минералов позволяет установить значение минералов в процессе гидратации и структурообразования закладочного массива. Так, наибольшее значение в образовании

монолитного камня принадлежит силикатам кальция. Их гидратация при правильной пропорции и дисперсности приводит к росту прочных гидратных связей различной формы. Можно предполагать, что хвосты обогащения при механоактивации способны проявлять вяжущие свойства.

### **3. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

#### **3.1. Изучение механизма гомогенизирующего и активирующего воздействия на компоненты литых твердеющих смесей при их производстве**

Механическая активация твердых тел в измельчительных аппаратах — это удобный в технологическом отношении прием, позволяющий реализовать импульсный подвод механической энергии к обрабатываемым веществам. Одним из принципиально новых направлений решения задач в области диспергации и гомогенизации различных материалов является использование импульсного гидроакустического воздействия на твердые тела и жидкости в совместных системах.

Колебания жидкой среды в диапазоне звуковых и ультразвуковых частот сопровождаются явлением кавитации, при которой создаются импульсные давления и ускорения до  $10^6$  м/сек<sup>2</sup> в зоне кавитационного пузырька.

Ультразвуковое диспергирование твёрдых тел происходит под действием микроударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков, и заметно интенсифицируется при наличии статического давления. Этим способом можно получать мелкодисперсные материалы, необходимые для лабораторных анализов минералов и применяемые в фармацевтической, химической, лакокрасочной и др. отраслях промышленности. Размер получаемых при ультразвуковом диспергировании частиц может составлять доли мкм.

Излучатели ультразвука можно подразделить на две большие группы. К первой относятся излучатели - генераторы; колебания в них возбуждаются из-за

наличия препятствий на пути постоянного потока - струи газа или жидкости. Вторая группа излучателей - электроакустические преобразователи; они преобразуют уже заданные колебания электрического напряжения или тока в механические колебания какого-либо твёрдого тела, которое и излучает в окружающую среду акустические волны.

В излучателях первого типа (механических) преобразование кинетической энергии струи в акустическую возникает в результате периодического прерывания струи, при натекании её на препятствия различного вида. Для усиления отдельных частотных компонент излучения применяют резонансные элементы конструкции. Жидкостные механические излучатели ультразвука часто основываются на возбуждении колебаний твёрдой излучающей системы при натекании на неё струи.

Излучатели второго типа основываются на различных физических эффектах электромеханического преобразования. Как правило, они линейны, то есть воспроизводят возбуждающий электрические сигнал. Большинство излучателей ультразвука предназначено для работы на какой-либо одной частоте, поэтому в устройстве излучающих преобразователей обычно используются резонансные колебания механические системы, что позволяет существенно повысить их эффективность.

Для обработки дисперсных систем «жидкость - твердое тело» применяют гидродинамические излучатели: устройства, преобразующие часть энергии турбулентной струи жидкости в энергию акустических волн. Работа гидродинамических излучателей основана на генерировании возмущений в жидкой среде в виде некоторого поля скоростей и давлений при взаимодействии вытекающей из сопла струи с препятствием определённой формы и размеров либо при принудительном периодическом прерывании струи.

Наибольшее распространение получили пластинчатые гидродинамические излучатели, состоящие из погружённых в жидкость прямоугольного щелевого сопла (Рисунок 3.1.) и заострённой в сторону струи

пластинки, которая крепится в узловых точках (Рисунок 3.1. а.), либо консольно (Рисунок 3.1. б). При натекании на пластинку потока жидкости в ней возбуждаются изгибные колебания.

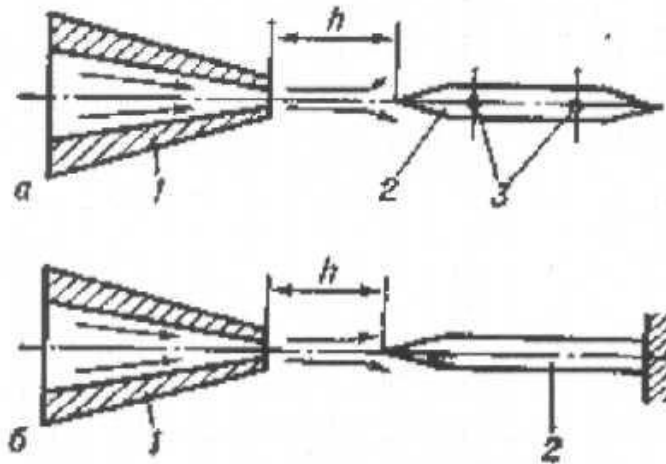


Рисунок 3.1 - Схемы пластинчатых гидродинамических излучателей с креплением пластинки *а* - в узловых точках, *б* - консольно: 1 - сопло; 2 - пластинка; 3 - точки крепления (узлы колебаний)

Возможен и другой механизм излучения гидродинамическими излучателями – за счёт пульсации кавитационной области, образующейся между соплом и препятствием. Основные элементы такого излучателя - конусно-цилиндрическое сопло 1 (Рисунок 3.2.), препятствие – отражатель 2 и резонансная колебательная система в виде стержней 3, расположенных вдоль образующих цилиндра с осью сопло — отражатель. Для возбуждения интенсивных колебаний необходимо определённое соотношение между диаметром лунки  $D$  на торце отражателя и диаметром сопла  $d$  при определённой форме отражающей поверхности. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, которые возбуждают в стержнях 3 изгибные колебания на их собственной частоте, что даёт вклад в излучение, повышая его интенсивность и монохроматичность. Гидродинамические излучатели подобной конструкции называются стержневыми.

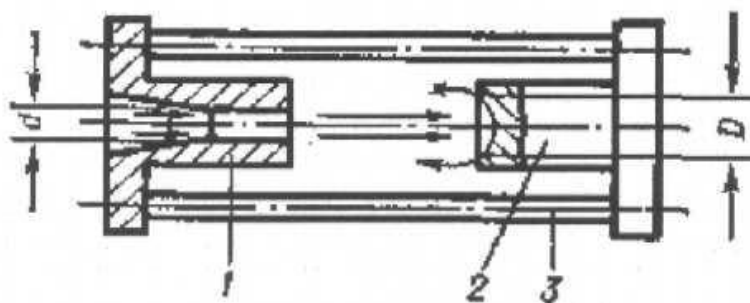


Рисунок 3.2 - Схема стержневого гидродинамического излучателя: 1 - сопло; 2 - отражатель; 3 - резонирующие стержни

Принцип излучения за счёт пульсации кавитационной области возможен в конструкции гидродинамических излучателей если в дне цилиндрического препятствия имеется отверстие диаметром  $d$ . Кавитационная область тороидальной формы образуется между торцами сопла и отражателя (сопла и цилиндра) при соответствующих геометрических параметрах.

Кроме перечисленных, существуют роторные излучатели, основными рабочими элементами которых являются соосно расположенные цилиндры – статор и ротор. Каждый из них на боковых поверхностях снабжён системой прорезей или отверстий. Работа их подобна работе сирен и сводится к периодическому прерыванию струи жидкости, что достигается чередованием прорезей статора и ротора при вращении последнего и приводит к возникновению в рабочей среде пульсаций давления. Частота роторных гидродинамических излучателей определяется количеством прорезей и числом оборотов ротора.

Гидродинамические излучатели способны излучать акустические колебания в широком частотном диапазоне: от 0,3 до 35 кГц.

Общими преимуществами гидродинамических излучателей являются дешевизна получаемой акустической энергии, простота конструкций и их эксплуатации. Преимущество пластинчатых гидродинамических излучателей - возможность работы при относительно низких напорах; недостатки - частые поломки пластин из-за усталостных напряжений, трудность расположения опор

точно в узловых точках, затруднения при генерировании колебаний в вязких средах и средах с твёрдыми примесями. Стержневые гидродинамические излучатели лишены указанных недостатков, однако они работают при повышенных напорах. Роторные гидродинамические излучатели существенно сложнее пластинчатых и стержневых как в конструктивном отношении (необходимость обеспечения высокой соосности ротора и статора, наличие вращающихся элементов и т. д.), так и в эксплуатации, но они имеют наибольшую по сравнению с другими гидродинамическими излучателями производительность.

Гидродинамические излучатели применяются для интенсификации различных технологических процессов, таких, как эмульгирование нерастворимых друг в друге жидкостей (получение высококачественных эмульсий вода - масло, вода - ртуть), диспергирование твёрдых частиц в жидкостях (графита в масле), ускорение процессов кристаллизации в растворах, расщепление молекул полимеров и т. д.

Активатор жидких смесей (рисунок 3.3) содержит два диска с консольными стержнями 4 в периферийной части, закрепленными по концентрическим окружностям с расположением каждого ряда одного диска между двумя рядами другого диска. Диски выполнены вогнутыми в центральной части. При этом вогнутые части дисков обращены одна к другой. Диски имеют приводы для их вращения в противоположные стороны и размещены в корпусе 1, который выполнен в виде тора. В полости тора смесь находится в зоне высокоэнергонапряженного воздействия перемещающихся стержней.

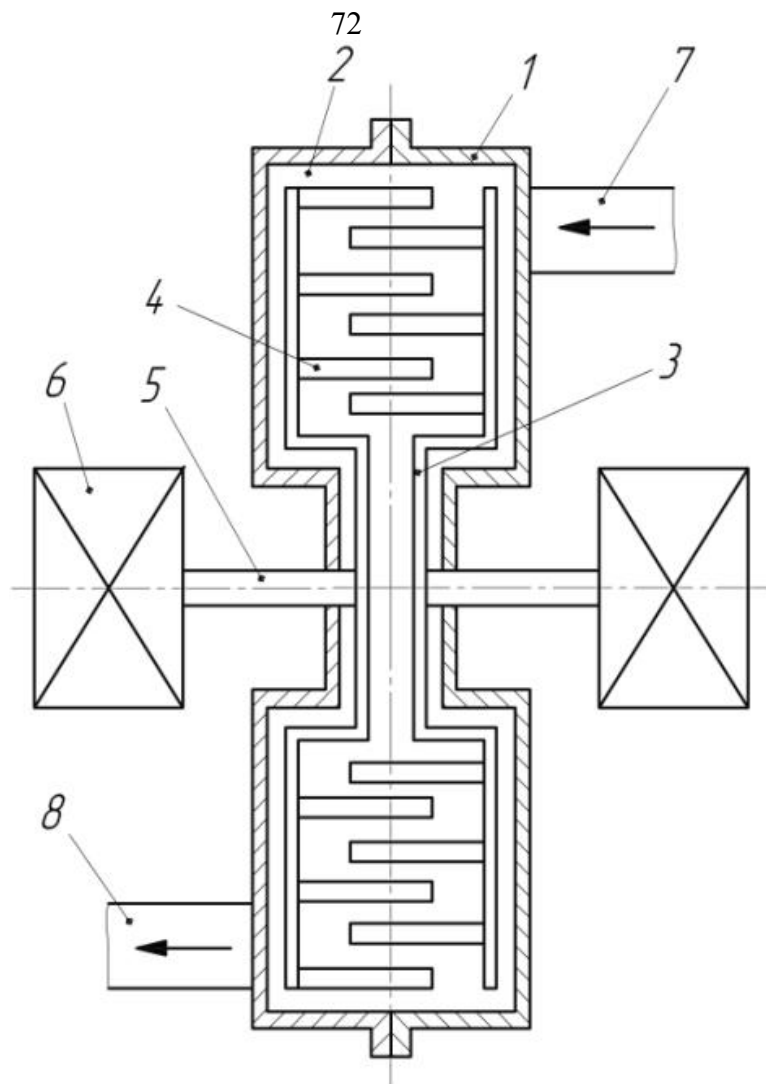


Рисунок 3.3 - Активатор жидких твердеющих смесей

Твердеющая закладочная смесь после предварительного измельчения поступает в трубопровод, а из него в полость активатора, где вращаются диски в противоположные стороны. При этом их относительная линейная скорость обеспечивает интенсивное перемешивание закладки, ее гомогенизацию, измельчение твердых частиц, разрушение гидратных пленок на частицах цемента.

Смесь проходит по торообразной полости и далее двигается по трубопроводу в выработанное пространство. За счет интенсивного механического воздействия закладочная смесь не расслаивается в трубопроводе и в выработанном пространстве, становится более текучей и обеспечивается возможность снижения расхода цемента при сохранении необходимой прочности закладочного массива.



В динамических гидроударно-кавитационных устройствах (ГКУ) прерывание потока происходит из-за вращения ротора, размещенного на одной оси со статором. Конструктивно в рабочих поверхностях ротора и статора такого устройства выполнены щели для протекания обрабатываемой среды. Одним из основных факторов эффективной работы ГКУ является форма поперечного сечения этих щелей, характер их движения и зазор между статором и ротором.

Широкое распространение в настоящее время ГКУ в промышленном применении нашли в основном в горнодобывающей отрасли. Подобные устройства так же успешно применяются на машиностроительных заводах для приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей и на заводах, производящих синтетические моющие средства.

ГКУ (рисунок 3.4) содержит входной патрубок 1 и выходной патрубок 2, корпус 3, внутри которого установлены роторы 4, 5, 6, 7 и статоры 8, 9, 10, 11, торцевые крышки 12, вал 13. Роторы и статоры представляют собой рабочие пары «статор-ротор» с отверстиями в боковых стенках и рабочими камерами 14.

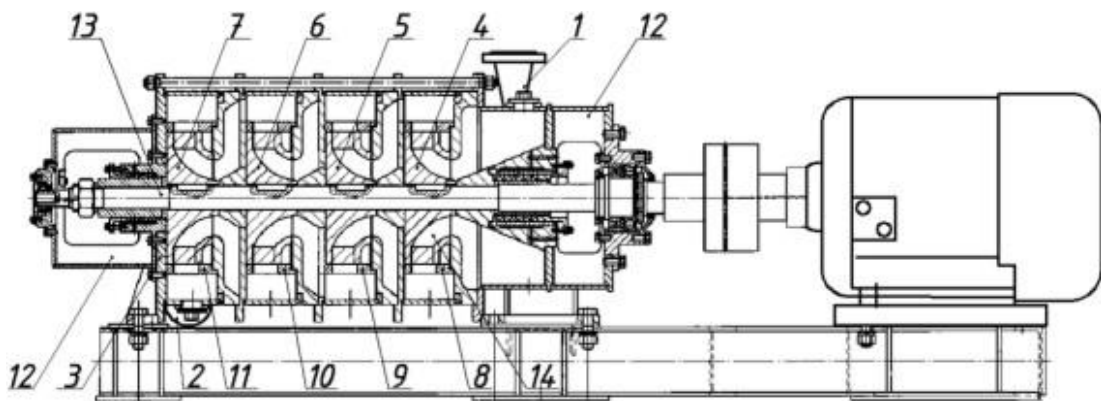


Рисунок 3.4 – Разрез ГКУ

ГКУ (рисунок 3.4) работает следующим образом. Из рециркуляционной ёмкости предварительно подготовленный материал с измельчёнными частицами через входной патрубок 1 поступает в ГКУ 2. В процессе функционирования обрабатываемая смесь, находящаяся в рабочей камере 14, разгоняется в направлении отверстий ротора 4, 5, 6, 7. В момент перекрытия кольцом статора

8, 9, 10, 11 отверстий ротора скорость движения потока резко снижается и прерывается, происходит гидравлический удар, сжимающие усилия через жидкость передаются на частицы твёрдых веществ, деформируя их. При совмещении отверстий ротора и статора нагрузка с частицы снимается, и она испытывает деформацию растяжения.

При выходе из отверстия ротора в отверстие статора материал попадает в поле кавитационных импульсов, образованных расширением канала потока в рабочей камере. Под воздействием схлопывающихся пузырьков жидкости разрушаемая частица получает дополнительное разрушение от знакопеременных нагрузок. Большая суммарная поверхность кавитационных пузырьков обеспечивает интенсивный диффузионный обмен между жидкой и газовой фазами, в результате чего происходит ускорение активирующих реакций. Далее через выходной патрубок готовый продукт поступает в накопительную ёмкость в непрерывном проточном режиме.

Последовательно расположенные и однонаправленные на осевом валу 13 ступени устройства при движении потока создают приращение давления и импульсных частот, близких к ультразвуку, от входного патрубка 1 к выходному 2. Это позволяет получить на выходе каждой из последующих ступеней более высокую степень измельчения, активации и гомогенизации обрабатываемого материала. При переходе потока из одной ступени в другую кратно повышается давление, которое способствует увеличению частоты гидрокавитационных импульсов. Изменение частоты определяется конструкцией рабочих пар, формой и количеством отверстий статора и ротора. Увеличение импульсной частоты способствует мелкодисперсному измельчению твёрдых частиц в непрерывном потоке. Дисперсность частиц увеличивается от ступени к ступени в соответствии с увеличением резонансной частоты измельчения.

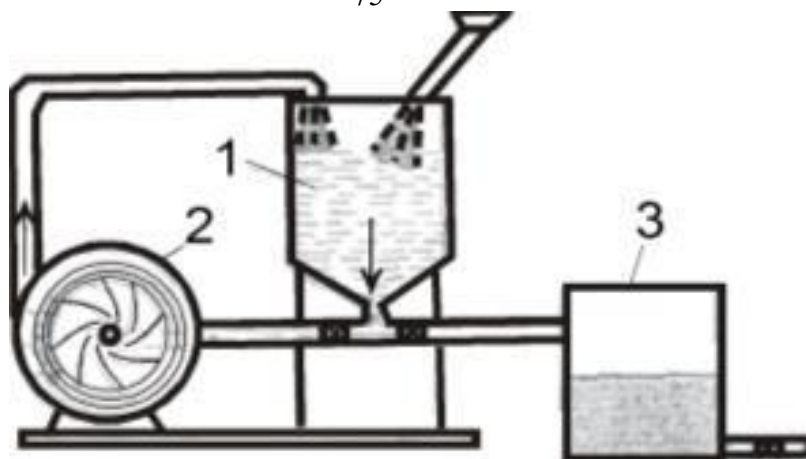


Рисунок 3.5 – Общая схема установки на базе ГКУ

Технический результат ГКУ заключается в мелкодисперсном измельчении в рабочих камерах каждой из ступеней, диспергирование и активирование гомогенных систем «жидкость - жидкость», «жидкость - твердые частицы» в проточном режиме, что обеспечивается совокупностью нескольких предложенных конструктивных особенностей. Последовательная однонаправленность ступеней устройства, обеспечивает при движении потока приращение давления и частот, близких к ультразвуку, от входного патрубка к выходному, что позволяет получить на выходе каждой из последующих ступеней более высокую степень измельчения, активации и гомогенизации обрабатываемого материала. Одинаковое соотношение количества отверстий в статоре и роторе одной ступени и кратное возрастание отверстий в каждой последующей ступени при постоянной пропускной способности ступеней обеспечивает реализацию локального гидроудара для эффективного разрушения, как на сжатие, так и на разрушение поступившей частицы в смеси. Различная форма отверстий в статоре и роторе первоначальных ступеней и заключительной позволяет увеличить эффективность кавитационной обработки жидких сред в ступенях устройства, что способствует положительному эффекту разрушения обрабатываемой частицы, возникающего вследствие воздействия на растяжение.

Процесс движения обрабатываемого материала в ступени с рабочей парой статор- ротор, функционирующего ГКУ, показан на рисунке 3.6.

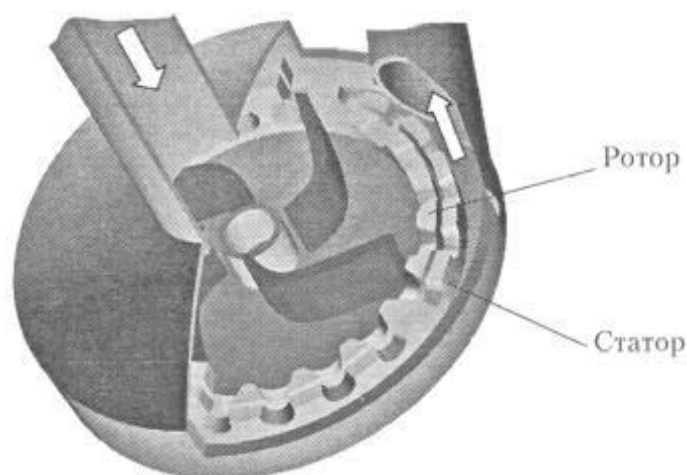


Рисунок 3.6 – Схема движения обрабатываемого материала в ступени

Применение ГКУ дает существенный экономический эффект благодаря значительной интенсификации гидромеханических процессов за счет достижения кавитационного режима течения обрабатываемой среды, переводу на непрерывный режим эксплуатации, снижению энерго- и материалоемкости, уменьшению производственных площадей. Устройство оказывает многофакторное импульсное воздействия на обрабатываемый материал с целью получения стабильных, высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров, деструкции молекулярных соединений. Высокая степень воздействия на обрабатываемую среду объясняется развитой интенсивной акустической импульсной кавитацией, большими сдвиговыми напряжениями, гидравлическими ударами и другими механическими воздействиями.

Технологии и технологические комплексы на базе ГКУ позволяют получать высококачественные активные растворы, эмульсии, экстракты и суспензии. В технологический комплекс кроме ГКУ входит стандартное оборудование для дозирования, нагнетания и подачи жидкостей и компонентов продукта, их нагрева и охлаждения, приборы контроля и учёта, ёмкости

предварительного смешивания и временного хранения компонентов.

В настоящее время существует огромный потенциал возможности применения ГКУ в промышленности.

В крупном промышленном производстве, а также, когда оправдано применение аппарата для проведения только одного технологического процесса, наиболее эффективным является использование специально сконструированного ГКУ для конкретного технологического процесса. Благодаря целому ряду технологических процессов реализуемых комплексно или самостоятельно в ГКУ, перспективность применения технологического комплекса на базе данного аппарата в процессе производства ЛТС с использованием хвостов обогащения очевидна.

### **3.2. Разработка устройства для активации и гомогенизации материалов смеси**

В результате сравнительного анализа выявлено, что из всех рассмотренных устройств для активации материалов ЛТС оптимальной конструкцией обладают гидродинамические роторные аппараты с периодическим прерыванием потока [95-96]. Аналитическим путём установлено, что из всех гидродинамических устройств наиболее эффективным является устройство импульсного гидроударно-кавитационного способа воздействия, благодаря его конструктивным особенностям и высокой энергетике процесса.

Для изучения импульсного гидроударно-кавитационного воздействия на материалы ЛТС был разработан гидроударно-кавитационный смеситель (ГКС), представленный на рисунке 3.7 (патент на его изобретение № 2550609).

ГКС содержит цилиндрический корпус рабочей камеры 1, стенки 2 и 3. На передней стенке 2, консольно расположены две эжекционные камеры 4, внутри которых установлены эжекционные сопла 5, конфузторы 6, подводящие патрубки 7. На стенках эжекционных камер 4 имеются боковые окна 8, соединенные с загрузочным бункером 9. В торце эжекционных камер расположена вращающаяся перегородка в виде диска 10 с профилированными концентричными отверстиями 11, установленная на вал, опирающийся на подшипник 12, защищенный от жидкости уплотнением 13, и приводимая во

вращение от электродвигателя 14. Напротив сужающихся сопел 15 каналов установлены отражатели 16, опирающиеся на пружины 17. В задней стенке имеется отводящее отверстие для смеси 18 и выходной патрубков

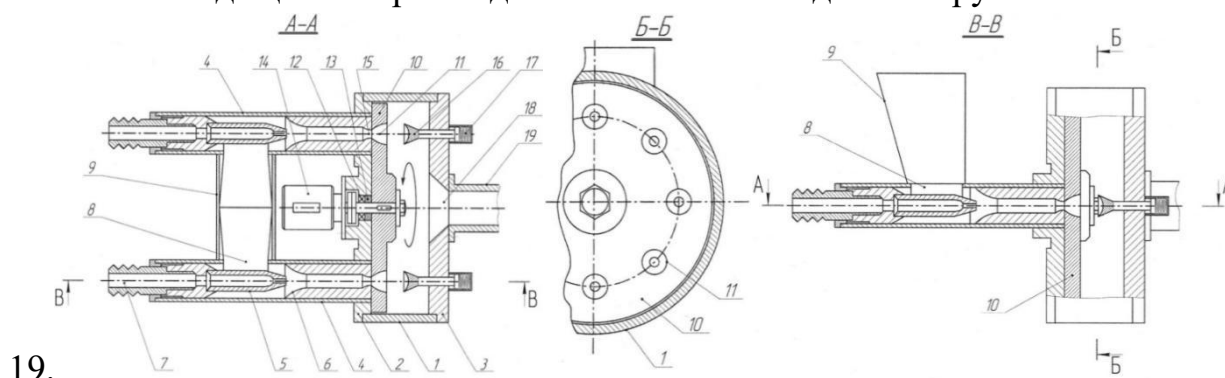


Рисунок 3.7 - Гидроударно-кавитационный смеситель: 1 – рабочая камера; 2 и 3 – стенки рабочей камеры; 4 - эжекционные камеры; 5 - эжекционные сопла; 6 – конфузоры; 7 - подводящие патрубки; 8 - боковые окна, 9 - загрузочный бункер; 10 - диск; 11 - концентричные отверстия; 12 - подшипник; 13 - уплотнение; 14 – электродвигатель; 15 – сужающиеся каналы; 16 - отражатели; 17 - пружины; 18 - отводящее отверстие для смеси; 19 - выходной патрубков

ГКС работает следующим образом [97]. Предварительно дозированные и смешанные цемент с водой (цементное молоко) под давлением подается в подводящие патрубки. Одновременно в загрузочный бункер подаются хвосты обогащения. За счет увеличения скорости потока в эжекционных соплах при попадании потока в конфузоры внутри них создается разрежение и хвосты обогащения дозированно из бункера через окна в стенке эжекционной камеры попадают в поток и смешиваются с цементным молоком. Полученная смесь подается в сужающиеся каналы, а затем, в момент совпадения каналов с профилированными отверстиями на вращающейся перегородке, смесь направляется внутрь рабочей камеры, ударяясь в полусферические отражатели, вибрирующие на пружинах, за счет пульсации потока смеси. Электродвигатель вращает перегородку с частотой, необходимой для создания ультразвуковых пульсаций потока смеси.

В результате создается комплексное механическое воздействие на частицы в смеси. Образуется концентрированная пульсирующая кавитационная

область между профилированными отверстиями и отражателями. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, что способствует дополнительному гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающейся ее активацией. Соударение частиц смеси с вибрирующими отражателями вызывает их разрушение, измельчение, интенсивное перемешивание и повышение однородности состава смеси.

С учётом гидродинамических и кавитационных воздействий как на обрабатываемый материала, так и сами детали ГКС принимаем материал вала сталь марки 45. Для торцевых крышек корпуса выбираем материал сталь марки СтЗпс. Для элементов корпуса строения, роторов и статоров рабочих пар принимаем материал сверхпрочная сталь 110Г13Л, которая обладает высоким сопротивлением к износу при одновременном воздействии высоких давлений и ударных нагрузок. Выбираем материал для входного и выходного патрубков устройства высокопрочный чугун марки Сч4 21Х40, который пригоден к эксплуатации в тяжёлом режиме

По результатам теоретического исследования механизма гомогенизирующего и активирующего воздействия на компоненты закладочных смесей при их производстве выбран механизм частотной гидроударно-кавитационной обработки смеси, обоснован способ воздействия, обеспечивающий обработку материалов смеси в поле гидроударно-кавитационных импульсов, разработано смесительно-активирующее устройство для жидких сред, которое позволяет гомогенизировать и активировать составы «жидкость-твёрдое» за счет следующих факторов:

- механического воздействия на частицы обрабатываемой среды, заключающееся в ударных, срезающих и истирающих нагрузках;
- гидродинамического воздействия, выражающееся в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, пульсациях давления и скоростях потоков в жидкости;
- гидроакустического воздействия на жидкость осуществляется за счет мелкомасштабных пульсаций давления и интенсивной кавитации.

На основании проведённого теоретического обоснования предлагаемых конструктивных решений можно сделать вывод, что разработанный ГКС обеспечит эффективную гомогенизацию и активацию материалов ЛТС с использованием хвостов обогащения при сокращении металлоёмкости, энергозатрат и времени обработки. При разработке технологии закладки выработанного пространства твердеющими смесями ГКС обеспечит проявление вяжущих свойств мелкодисперсных фракций хвостов обогащения и повышение вскрытия зёрен цемента. Для подтверждения теоретического заключения об эффективности импульсного гидроударно-кавитационного воздействия необходимо провести исследования технологии закладки выработанного пространства хвостами обогащения с применением разработанного ГКС, по результатам которых определить механизм набора прочности ЛТС.

### **3.3. Технология приготовления закладочных смесей с использованием хвостов обогащения с применением гидроударно-кавитационного смесителя**

Методика проведения исследований аналогична проведению исследований при лопастном смесителе и шаровой мельнице и предусматривает изучение свойств исследуемых составов, их транспортных и прочностных характеристик на основании новообразований в процессе гидратации.

Удельное количество цемента в составах ХЦ, принято: 170; 240; 320; и 400 кг/м<sup>3</sup>. Для исследования составов АХЦ, приняты составы с расходом цемента 170; 240 и 320 кг/м<sup>3</sup>, ангидрита – 400 и 600 кг/м<sup>3</sup>.

Для лабораторных испытаний составов использован разработанный ГКС (рисунки 3.8-3.10).





Рисунок 3.8- Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием ГКС



Рисунок 3.9 - Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием ГКС

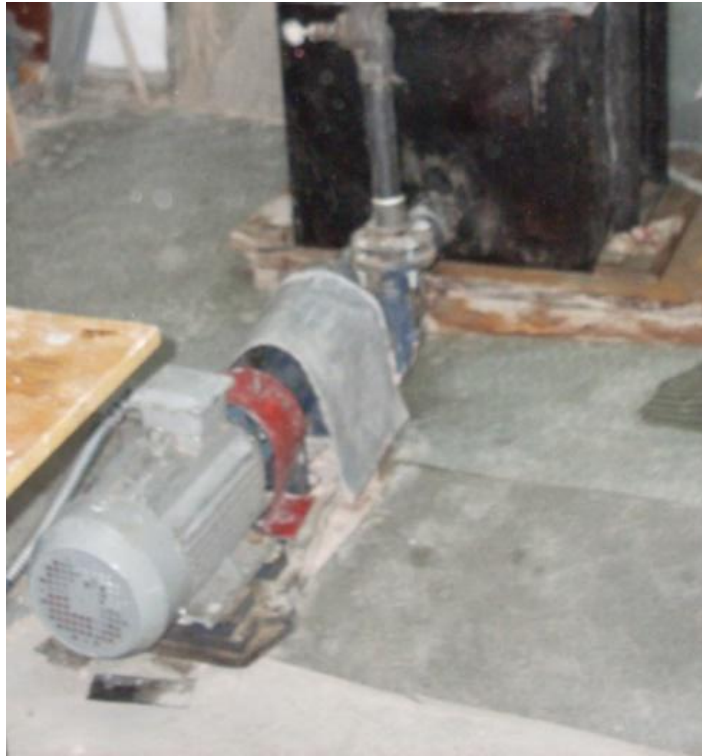


Рисунок 3.10 - Разработанный ГКС (лабораторный вариант)

Время обработки материалов смеси во всех экспериментах принято 10 минут.

Исследуемые составы, удельный расход материалов и контрольные характеристики прочности представлены в таблица 3.1 и 3.2. Кинетика твердения составов ХЦ с применением смесителя изображена на рисунке 3.11. Кинетика твердения составов АХЦ с применением смесителя изображена на рисунке 3.13. Средние показатели напряжения сдвига не превышают 0,65 МПа, а подвижность составляет 11 – 11,5 см, время схватывания 12ч.

Таблица 3.1 – Составы с использованием хвостов и цемента с применением ГКС

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			$\gamma_{\text{тв. смеси}}$ т/м <sup>3</sup>	Распływ по Сутгарду, мм	Контрольная характеристика прочности, МПа, сутки		
Хвосты ГОФ	Цемент	Вода, л			7	28	90
1246	170	500	1,92	266	0,5	1,2	2,0
1183	240	500	1,92	257	0,7	1,6	2,6
1112	320	500	1,93	250	1,6	2,9	4,3
1039	400	500	1,94	230	2,9	4,3	6,1

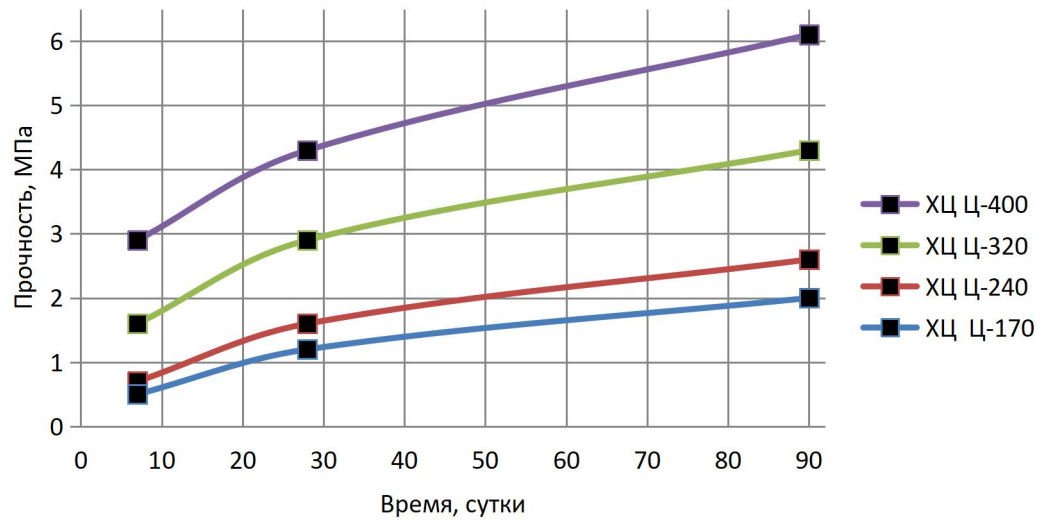


Рисунок 3.11- Кинетика твердения составов ХЦ с применением ГКС



Рисунок 3.12 - Испытание образцов на прочность составов ХЦ с применением ГКС

Таблица 3.2 – Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента с применением ГКС

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				γ <sub>тв.</sub> смеси т/м <sup>3</sup>	Расплав по Суттарду, мм	Контрольная характеристика прочности, МПа, сутки			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	255	0,5	0,9	1,6	2,4
600	657	170	500	1,93	251	0,7	1,2	2,0	2,9
600	594	240	500	1,93	246	0,9	1,4	2,5	3,8
400	718	320	500	1,94	242	1,1	1,7	3,0	4,4
600	521	320	500	1,94	224	1,2	1,9	3,3	4,7

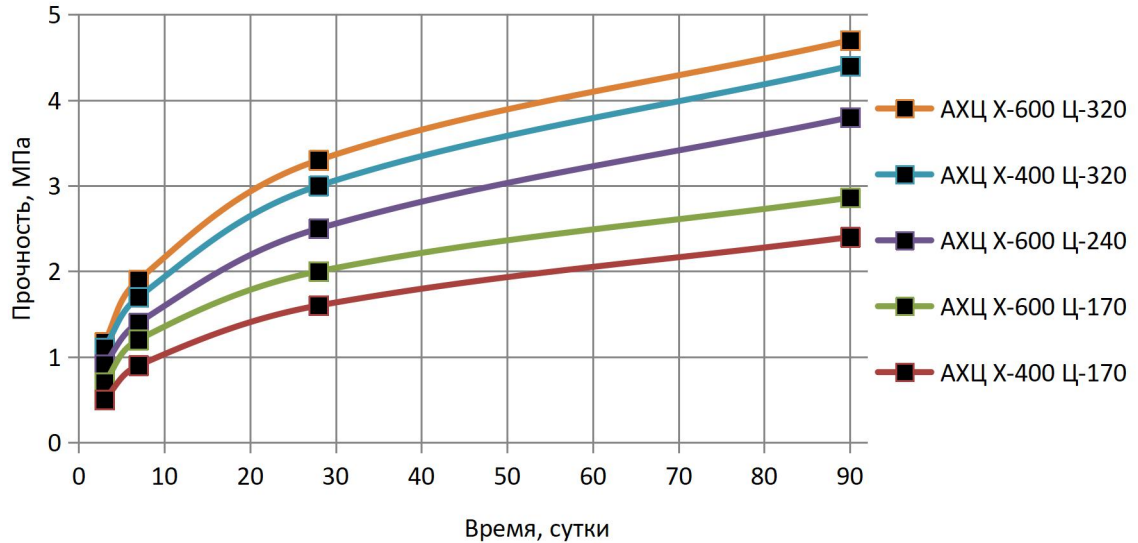


Рисунок 3.13 - Кинетика твердения составов АХЦ с применением ГКС



Рисунок 3.14 - Испытание образцов на прочность составов АХЦ с применением ГКС

Полученные результаты показали, что приготовление литых твердеющих смесей на основе гидроударно-кавитационной активации материалов смеси

позволяет обеспечить их качественную активацию и гомогенизацию (рисунках 3.15, 3.16).

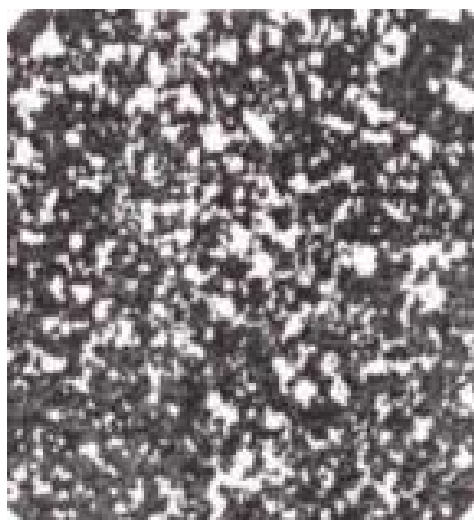


Рисунок 3.15 – Электронно-микроскопические снимки образцов составов XЦ

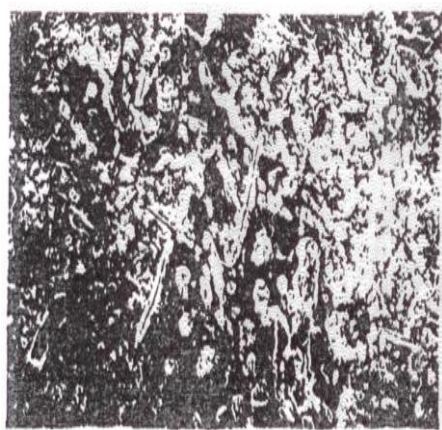


Рисунок 3.16 – Электронно-микроскопические снимки образцов составов AXЦ

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением разработанной технологии приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в ГКС, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей.

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре XRD 7000 (рисунок 3.17) в лаборатории рентгеновских методов исследования и анализа ЦКП СФУ.



Рисунок 3.17 – Рентгеновский дифрактометр XRD 7000

Установлено, что составы АХЦ, твердеющие за счет кристаллизации в них ангидрита и новообразований, в процессе взаимодействия хвостов обогащения с цементом и ангидритом после гидроударно-кавитационной обработки, набирают максимум прочности (распределение фаз структурных образований представлено в таблице 3.3, соответствующие им рентгеновские дифрактограммы образцов ХЦ и АХЦ на рисунках 3.18, 3.19).

В отличие от смесей, приготовленных традиционно в активированных растворах, в процессе твердения наблюдается заметное отличие по количественному составу образующихся кристаллических фаз (таблица 2.2). В особенности, после 7 суток искусственный массив содержит кроме гипса и гидромосульфалюмината кальция, также новый кристаллогидрат этрингит, а после 28 суток регистрируются еще шесть дополнительных новообразований.

По данным анализа, основными фазами новых образований твердеющего массива являются гидросульфалюминат кальция, гидроферриты, гидросиликаты.

Таблица 3.3 Распределение фаз структурных образований составов АХЦ во время твердения в зависимости от способов приготовления

Время твердения, сутки	Способ приготовления	
	В шаровой мельнице	ГКС
7	$2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (полугидрат) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (гидромоносульфоалюминат кальция)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (гидромоносульфоалюминат кальция) $3 \text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (эtringит)
28	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (гидромоносульфоалюминат кальция) $3 \text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (эtringит)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (гидромоносульфоалюминат кальция) $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (гидроферрит кальция) $\text{Ca}_5(\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (тоберморит) $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; $\text{Ca}_6(\text{AlSiO}_4)_{12} \cdot 30\text{H}_2\text{O}$ ; $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ; $\text{Ca}_6(\text{AlSiO}_4)_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (гидросиликаты и гидроалюмосиликаты (типа гидрогранатов))
90	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) $3 \text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (эtringит) $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (гидроферрит кальция) $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (гидромоносульфоалюминат кальция)	Разрастание фаз после 28-ми суток

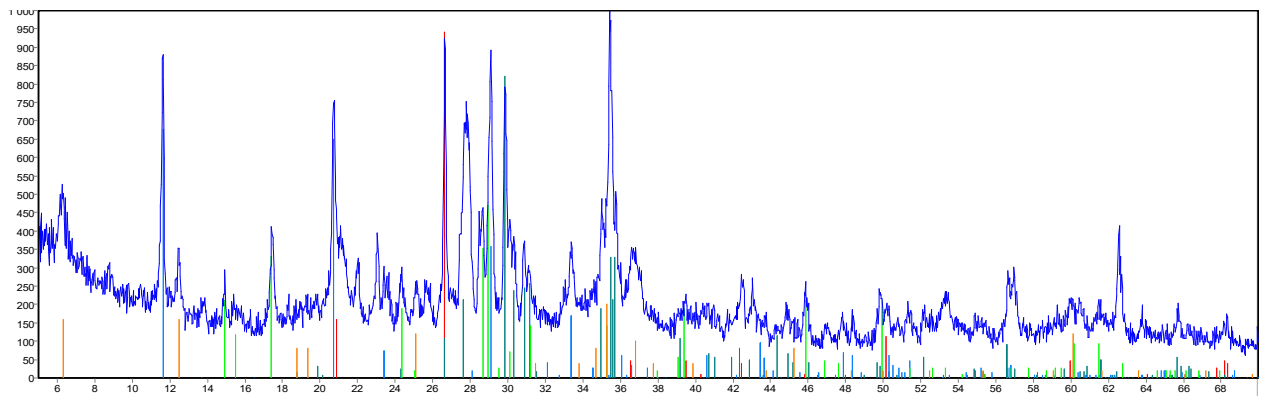


Рисунок 3.18 - Рентгеновские дифрактограммы образцов ХЦ

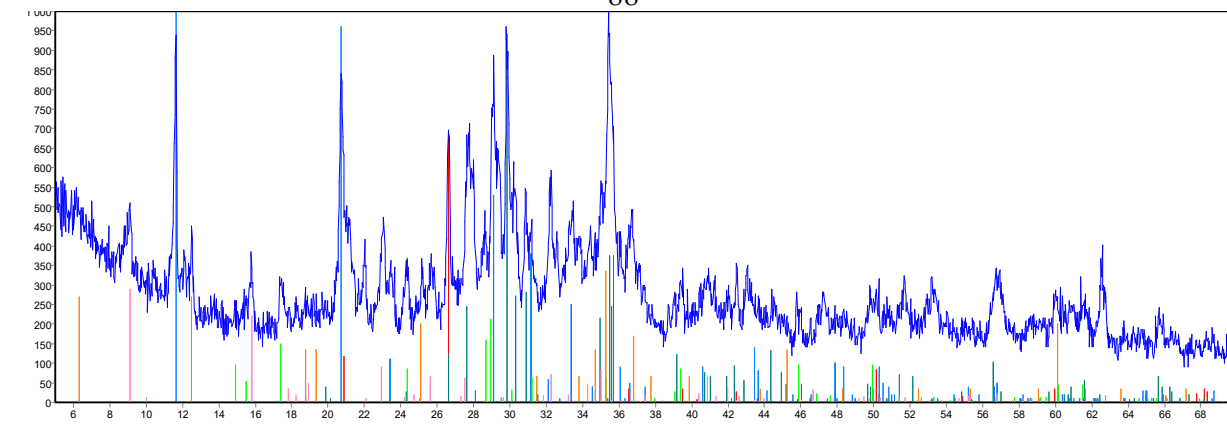


Рисунок 3.19 - Рентгеновские дифрактограммы образцов АХЦ

Из результатов лабораторных исследований следует вывод, что создавая из ангидрита и хвостов обогащения единую мелкодисперсную систему, формируются благоприятные условия для полного взаимодействия их частиц с водой, что повышает однородность, плотность и прочность закладочного массива.

Установлено, что при определенном соотношении расхода и удельной поверхности ангидрита и хвостов обогащения создается прочный закладочный массив.

Результаты лабораторных исследований показали рост прочности закладки с увеличением удельной поверхности частиц ангидрита и хвостов обогащения. Прочность образцов закладки зависит от формы, состава и плотности их распределения, кристаллических новообразований, соединяющих частицы инертного заполнителя.

Для установления причины интенсивного роста прочности твердеющей закладки с увеличением удельной поверхности была исследована структура образцов затвердевшей закладки. В результате исследования образцов твердеющей закладки разной удельной поверхности получены новые структурные формы.

Технология производства с использованием ГКС [98-103] позволяет обеспечить высокую интенсивность совместного перемешивания мелкодисперсных компонентов смеси, обновление их гидратирующих



поверхностей, ведущие к ускорению прохождения твердофазных химических реакций и как следствие снижение расхода вяжущего.

В результате ранее проведенных исследований было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по мельничному способу производства, имеют прочность в среднем на 20% выше образцов, приготовленных по технологии с применением лопастного смесителя. В тоже время, образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного устройства, имеют прочность в среднем на 30% выше образцов, приготовленных по мельничному способу.

С учетом полученных результатов установлено, что содержание в хвостах обогащения мелкодисперсных фракций в составе рецептур закладки обеспечивает проявление их вяжущих свойств и повышение набора прочности твердеющих смесей при их обработке в поле гидроударно-кавитационных импульсов с частотой 5000-6000 имп/с.

Разработанная технология закладки выработанного пространства литыми твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения (рисунок 3.20) состоит из силосов цемента, пневмопровода, дозаторов цемента, смесителя, емкости воды, водопровода, дозатора воды, бака хвостов обогащения, дозаторов хвостов обогащения, трубопровода хвостов обогащения, бункера измельченного ангидрита, гидроударно-кавитационного устройства, закладочного трубопровода в подземных участках рудника и заполняемых пустот.

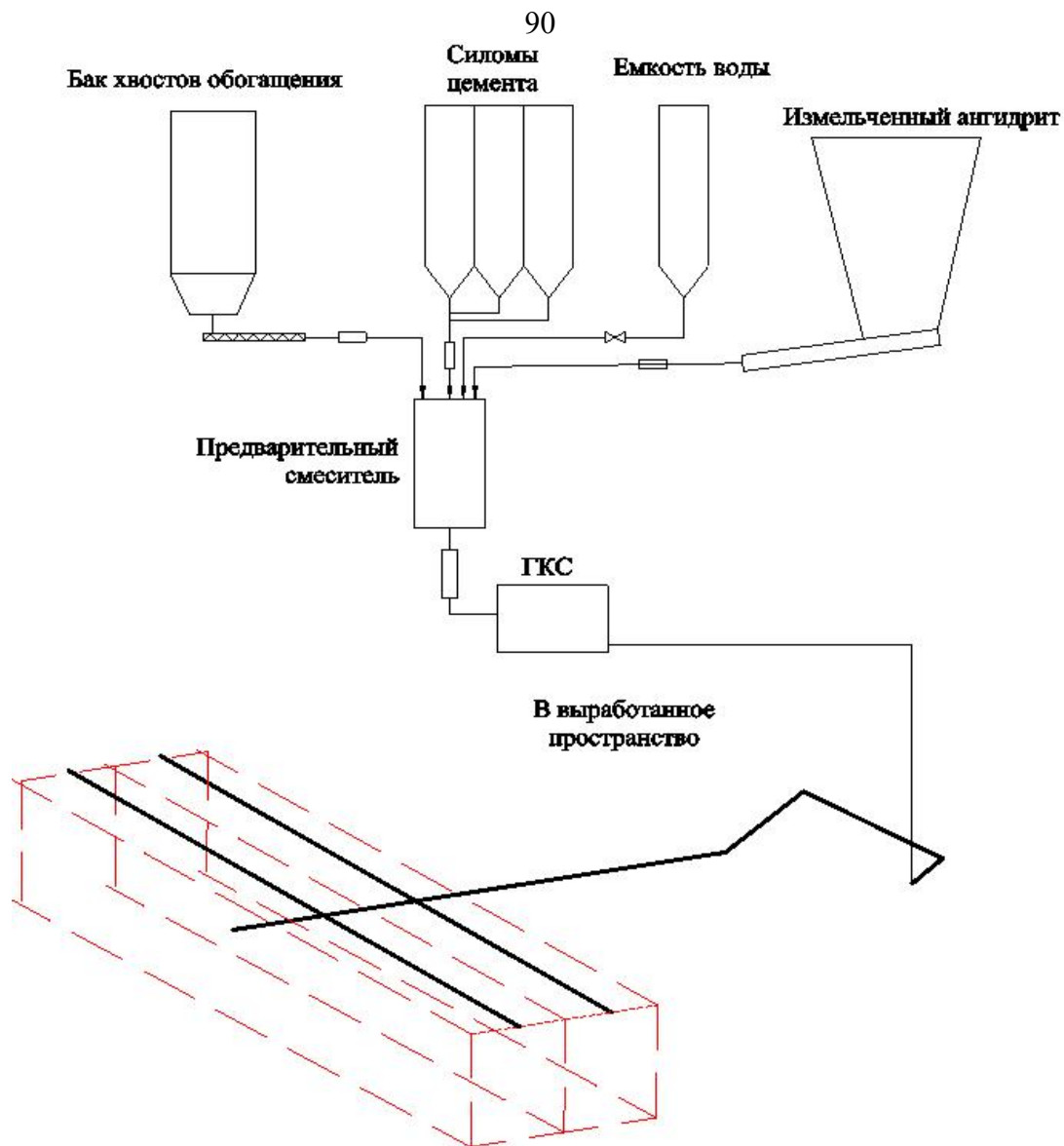


Рисунок 3.20 – Технологическая схема приготовления закладочной смеси с использованием хвостов обогащения с применением ГКС марок ХЦ и АХЦ

Приготовление твердеющей закладочной смеси по разработанной технологии закладки выработанного пространства осуществляется на поверхностном закладочном комплексе. Хвосты из бака, а ангидрит из бункера дозируются в зависимости от рецептуры питателями подаются по конвейерам на предварительное смешивание в смеситель. Цемент из силосов через дозаторы поступает в смеситель, где смешивается с хвостами и ангидритом. Вода, поступающая в смеситель, дозируется с помощью задвижки. Предварительно перемешанный раствор твердеющей смеси по трубопроводу поступает в ГКС, где в интенсивных полях гидроудара и кавитации происходит

гомогенизация и активация раствора. Из ГКС твердеющая смесь подается в горные выработки по вертикальному трубопроводу, проложенному в стволе шахты или в специально оборудованных скважинах и затем попадает в горизонтальный закладочный трубопровод.

Предложенная технология приготовления ЛТС должна обеспечить наиболее полную гидратацию вяжущего при его гомогенном распределении в среде мелкодисперсного заполнителя. Твердеющая смесь гомогенизируется и активируется в ГКС за счет разрушения флоккул вяжущего и гидратных пленок на поверхностях частиц цемента с их равномерным распределением между частицами хвостов обогащения.

Для подтверждения результатов лабораторных исследований, необходимо провести опытно-промышленные испытания (ОПИ) разработанной технологий в натуральных условиях на поверхностном закладочном комплексе рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель». Для проведения ОПИ рекомендуются рецептуры составов ХЦ и АХЦ представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Рекомендуемые к проведению опытно-промышленных испытаний составы ХЦ и АХЦ

№ п/п	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			
	Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л
1	-	1246	170	500
2	-	1183	240	500
3	-	1112	320	500
4	400	853	170	500
5	600	657	170	500
6	400	718	320	500
7	600	521	320	500

#### **3.4. Проведение опытно–промышленных испытаний разработанной технологии закладки в условиях рудника «Комсомольский»**

Существующий поверхностный закладочный комплекс рудника «Комсомольский» расположен на промплощадке Западного закладочного ствола (ЗЗС) и предназначен для ведения закладочных работ.

Сырье поступает на холодный склад, далее бульдозерами через

колосниковые решетки подается в бункеры. Дозирование материалов из бункеров осуществляется питателями КТ-12. Для ликвидации зависаний материалов в бункерах оборудованы вибраторами типа ИВ-105, ИВ-107. Далее по транспортеру материалы поступают на молотковую дробилку СМД-20 и после дробления по транспортерам подаются в мельницу. На комплексе установлено две мельницы производительностью 180—200 м<sup>3</sup>/ч. Одна мельница работает, вторая используется как резервная.

Цемент на комплекс поступает автомобильным транспортом. Из автомобильных цистерн цемент с помощью сжатого воздуха поступает в два цементных силоса объемом 800 м<sup>3</sup> каждый, далее через барабанный дозатор СБ-71 — в репульпатор, где смешивается с водой, затем цементное молоко по желобам поступает в мельницы.

В мельницах происходит измельчение и окончательное смешивание всех компонентов закладочной смеси. Из мельницы готовая закладочная смесь поступает в смеситель, откуда начинается ее транспортировка в выработанное пространство.

Транспортировка закладочной смеси из ПЗК осуществляется по скважинам диаметром 273 мм, пробуренным с поверхности, и далее — по бетоноводам диаметром 273 мм и 219 мм, проложенным в выработках вентиляционно-закладочных горизонтов, в самотечном и самотечно-пневматическом режимах — в зону очистных работ. Общая протяженность бетоноводов составляет порядка 28000 м. В выработанное пространство смесь подается по скважинам диаметром 105—160 мм, пробуренным с вентиляционно-закладочных горизонтов непосредственно в закладываемые выработки.

Параллельно бетоноводам по выработкам вентиляционно-закладочных горизонтов проложены трубопроводы сжатого воздуха и воды, смонтированы переключающие устройства и контрольно-измерительная аппаратура.

Аварийный сброс закладочной смеси производится в специальные камеры

и восстающие выработки.

В настоящее время на руднике «Комсомольский» подобраны и указаны технологической инструкцией ряд групп составов твердеющих смесей,готавливаемых в шаровых мельницах путём совместного измельчения входящих в них компонентов, с перемешиванием всей смеси в цементном растворе.

Цель ОПИ: Выявление рациональных рецептов рекомендуемых составов ХЦ и АХЦ по прочности, расхода воды, гранулометрического и количественного соотношения между ангидритом, породными хвостами и цементом при обеспечении условий транспортирования твердеющей смеси до места заполнения пустот.

Условия ОПИ: Исследования проводились на руднике «Комсомольский» на составах ХЦ и АХЦ, весовое содержание входящих компонентов каждого из составов приведено в таблице 3.5. Гранулометрический состав загружаемых компонентов смеси представлен следующими классами крупности: ангидрит (-100+0); цемент подаётся раствором в виде цементного молочка; подача хвостов осуществляется через сгуститель дозатором.

Таблица 3.5- Рекомендуемые к проведению промышленных испытаний составы ХЦ и АХЦ

№ п/п	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			
	Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л
1	-	1246	170	500
2	-	1183	240	500
3	-	1112	320	500
4	400	853	170	500
5	600	657	170	500
6	400	718	320	500
7	600	521	320	500

Подготовка и подача материала осуществляется по существующим технологическим цепочкам приготовления смеси на ПЗК рудника «Комсомольский». Весовое соотношение компонентов смесей устанавливается

и поддерживается во время работы питателями и дозаторами, имеющимися в технологических линиях ПЗК. Регулирование плотности пульпы осуществляется подачей воды. Контроль ведется по показанию расходомера.

Управление крупностью загружаемого материала производится во время его подачи в мельницу через дозаторы после додрабливания в молотковой дробилке. Крупность ангидрита регулируется установкой выпускной щели молотковой дробилки. Ангидрит дробится в процессе постановки эксперимента до класса (-100 мм, добавочно -60 мм и -40 мм).

Контроль прочности образцов приготовленной смеси, её текучести, тонкости измельчения, температуры и влажности проводится согласно технологической инструкции по производству закладочных работ на ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» в лаборатории ПЗК.

Закладываемые пустоты для исследования создаваемого искусственного массива на основе рекомендуемых твердеющих смесей составов ХЦ и АХЦ подготавливают сотрудники закладочного комплекса рудника «Комсомольский».

Подготовку, проведение и научное сопровождение натуральных испытаний осуществляют сотрудники ИГДГГ СФУ, ЦГБ и комплекса закладки рудника.

ОПИ проводились в соответствии с программой-методикой проведения опытно-промышленных испытаний. Программа методика включала в себя: постановку задачи исследования, цель испытания, условия исследования, план эксперимента.

После согласования с ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» к проведению ОПИ приняты 2 состава АХЦ, расход ангидрита, хвостов ТОФ цемента и воды, в которых приведено в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Испытанные на стадии опытно-промышленных испытаний составы АХЦ

№ п/п	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				γтв. смеси, т/м <sup>3</sup>
	Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л	
1	400	853	170	500	1,92
2	600	657	170	500	1,93

Исследования проводились на руднике «Комсомольский» на шаровой мельнице, трубной двухкамерной с внутренней перегородкой (рисунках 3.21, 3.22).

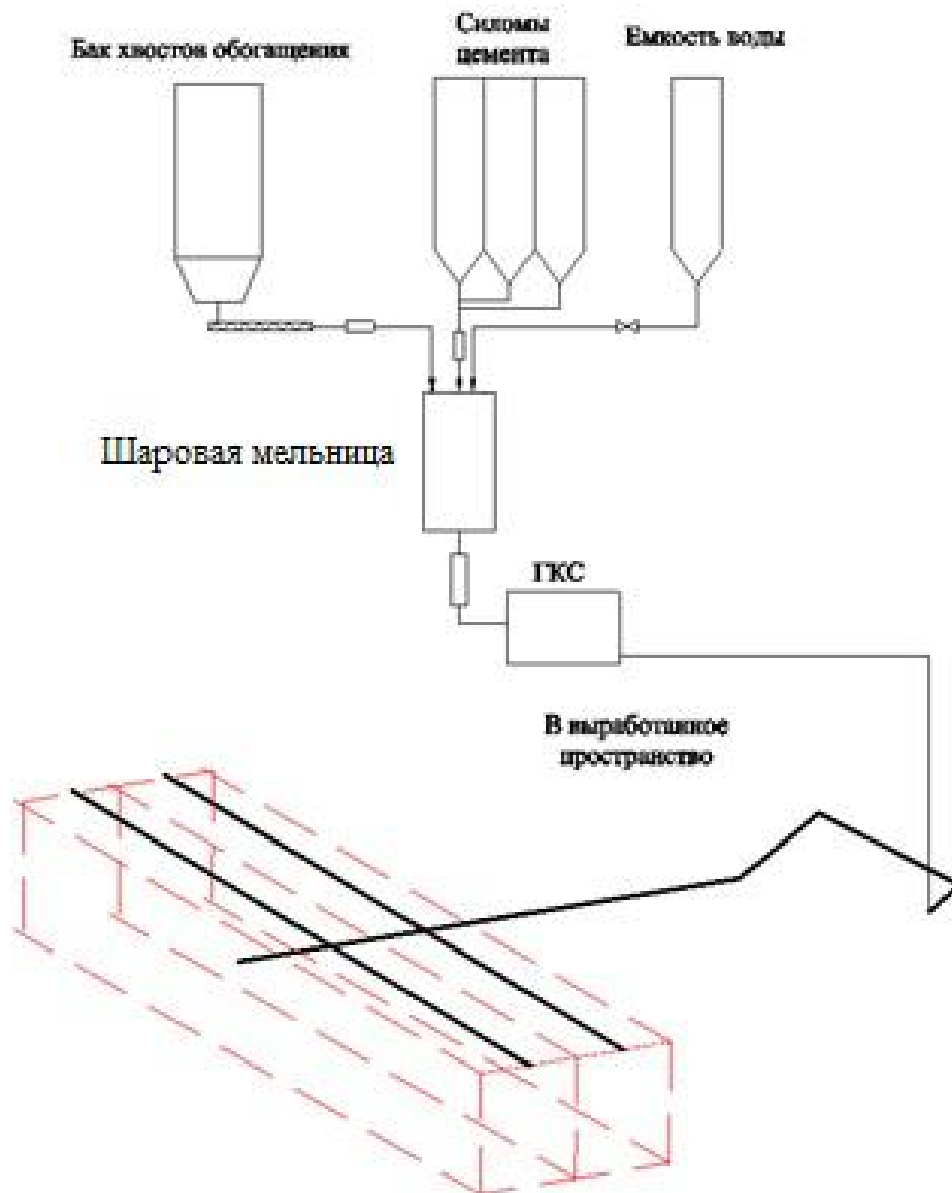


Рисунок 3.21 – Технологическая схема приготовления закладочной смеси с использованием хвостов обогащения с применением ГКС марки ХЦ при проведении ОПИ

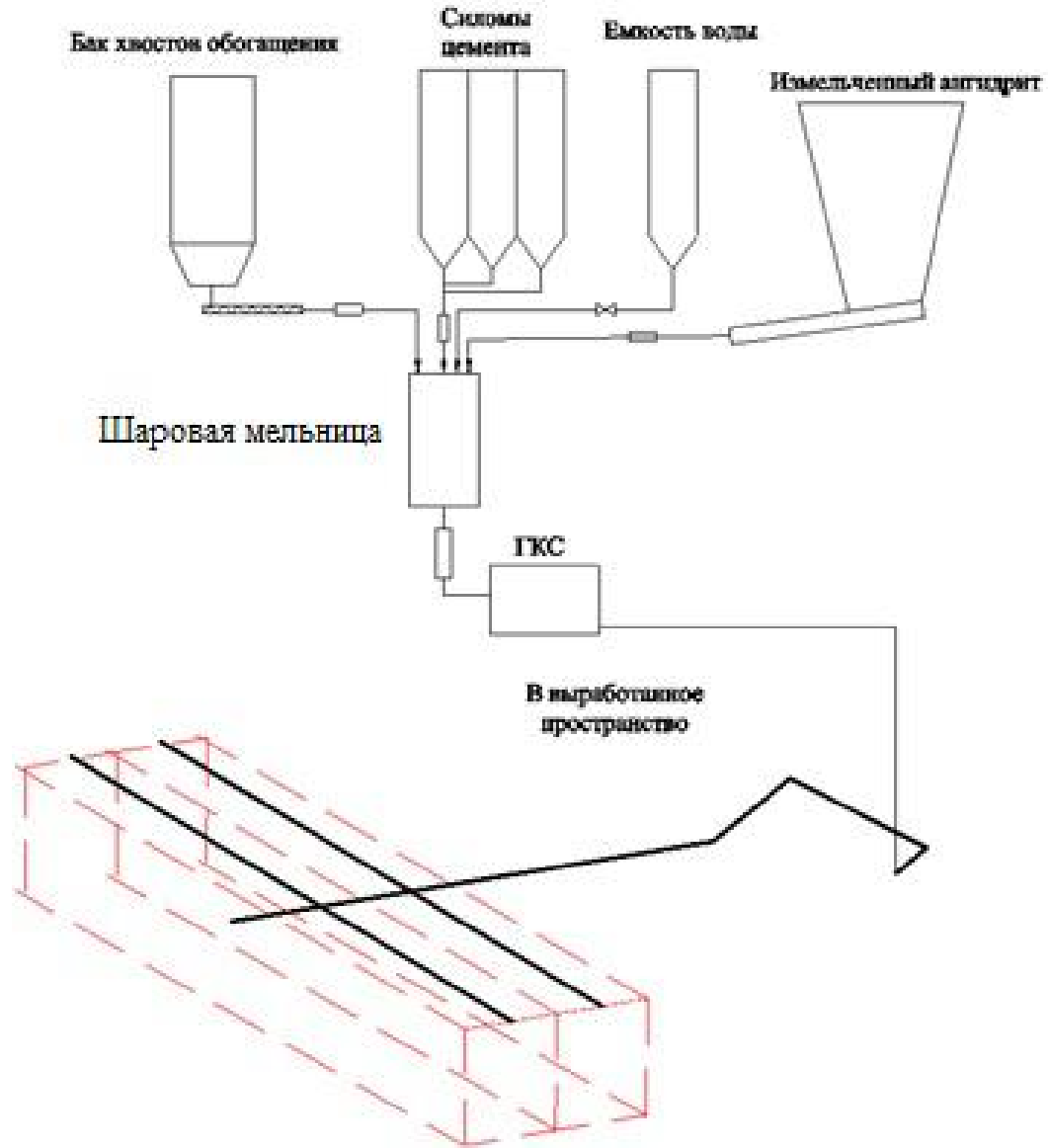


Рисунок 3.22 – Технологическая схема приготовления закладочной смеси на основе хвостов обогащения с применением ГКС марки АХЦ при проведении ОПИ

Гранулометрический состав загружаемого в мельницу ангидрита (-100+0).

Подача хвостов осуществлялась через сгуститель дозатором.

Техническая характеристика мельницы соответствует ГОСТ 10141-69:

Диаметр барабана – 4000 мм.

Длина барабана – 13500 мм.

Количество камер – 2 шт.

Рабочий объём – 127 м<sup>3</sup>.

Число оборотов барабана (рабочее) – 16 об./мин.



Тип электродвигателя СОМ 20-49-60.

Мощность – 2000 кВт.

Число оборотов эл. дв. – 100 об./мин

Вес мелющих тел – 140 т.

Общий вес – 408 т.

Используемая мельница относится к типу много камерных сливного действия. Внутренний объём барабана разделён на 2 камеры диафрагмой со щелевыми отверстиями, обеспечивающими пропуск измельчаемого материала вдоль мельницы и в тоже время предотвращающими смещение измельчающей среды. Мельница работает в открыто-цикловом режиме.

Согласно требованиям РТПП-09-2019 сотрудниками ПЗК рудника «Комсомольский» были изготовлено необходимое количество образцов исследуемых составов АХЦ для испытаний в контрольные сроки (3, 7, 28, 90 и 180 суток). Подготовка и хранение образцов осуществлялась на ПЗК рудника «Комсомольский». Испытания образцов закладки в контрольные сроки проводились в лаборатории ЦГБ.

Для обработки, сравнения и анализа результатов лабораторных исследований сотрудниками ЦГБ передавались результаты испытаний образцов закладки, полученных в результате проведения ОПИ в контрольные сроки. Результаты испытаний составов АХЦ представлены в таблице 3.7.

По результатам ОПИ было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного смесителя, имеют прочность в среднем на 30% выше образцов, приготовленных по мельничному способу.

Таблица 3.7 – Результаты опытно-промышленных испытаний составов АХЦ (по данным ЦГБ)

	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Контрольная характеристика прочности, МПа, сутки		
	Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л	7	28	90
Шаровая мельница	400	853	170	500	0,8	1,3	2,0
	600	657	170	500	1,1	1,7	2,8
	400	718	320	500	1,6	2,7	4,5
	600	521	320	500	1,8	3,0	5,1
ГКС	400	853	170	500	1,7	2,3	3,5
	600	657	170	500	1,8	2,5	3,7
	400	718	320	500	2,1	3,2	5,5
	600	521	320	500	2,7	4,8	6,6

Следовательно, способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет гомогенизации и активации компонентов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения.

### 3.5. Выводы по главе

На основании анализа изученного материала был определен механизм частотной гидроударно-кавитационной обработки смеси, обоснован способ воздействия, обеспечивающий обработку материалов смеси в поле гидроударно-кавитационных импульсов, создан гидроударно-кавитационный смеситель (патент РФ № 2550609, от 10.05.2015).

В смесителе создается комплексное механическое воздействие на частицы компонентов смеси. Образуется концентрированная пульсирующая кавитационная область между профилированными отверстиями и отражателями. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, что способствует дополнительному гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающемуся ее активацией.

По разработанной технологии приготовления закладки исследовались смеси ХЦ и АХЦ. Полученные результаты показали, что приготовление литых

твердеющих смесей на основе гидроударно-кавитационной активации материалов смеси позволяет обеспечить качественную гомогенизацию.

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением разработанной технологии приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в ГКС, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей.

Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о том, что разработанная технология производства ЛТС с использованием ГКС позволяет обеспечить высокую интенсивность совместного перемешивания мелкодисперсных компонентов смеси, обновление их гидратирующих поверхностей, ведущие к ускорению прохождения твердофазных химических реакций и как следствие снижение расхода вяжущего.

На основании ранее проведенных исследований было определено, что способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет повышения степени гидратации и активации компонентов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения.

Таким образом, формируемая прочность и реологические свойства литых твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения определяется количественным присутствием дисперсных частиц хвостов обогащения в компонентах смеси, интенсивностью их совместной обработки гидроударно-кавитационными импульсами в среде вяжущего, ведущей к обновлению гидратирующих поверхностей, гомогенизации и ускоренному прохождению твердофазных химических реакций, образующих разветвленную кристаллическую решетку в процессе твердения.

Для подтверждения результатов лабораторных исследований, проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологий в натуральных условиях на закладочном комплексе рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель».

Подготовка и подача материала осуществлялись по существующим технологическим цепочкам приготовления смеси на ПЗК рудника «Комсомольский». По результатам ОПИ было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного смесителя, имеют прочность в среднем на 30% выше образцов, приготовленных по мельничному способу.

Следовательно, способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет гомогенизации и активации компонентов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения.

Таким образом, качество искусственного массива, возводимого в выработанном пространстве твердеющими составами с использованием хвостов обогащения, обеспечивается прочностными и реологическими свойствами закладочных смесей, формируемыми в поле гидроударно-кавитационных импульсов в процессе производства.

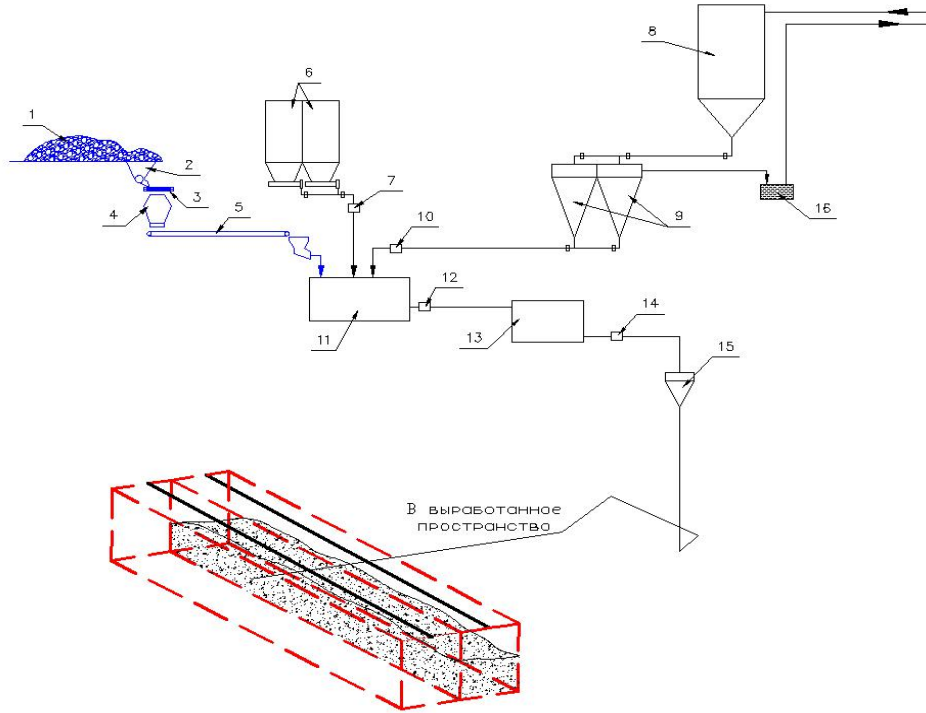


Рисунок 3.23 – Разработанная технология приготовления закладки с использованием гидроударно-кавитационной активации материалов смеси: 1 – склад ангидрита; 2 – приемный бункер; 3 – грохот; 4 - дробилка; 5 - конвейер; 6 – силосы цемента; 7 – дозатор цемента; 8 – бак хвостов обогащения; 9 - гидроциклоны; 10 – дозатор хвостов обогащения; 11 –шаровая мельница; 12 – расходомер; 13 – ГКС; 14 – контроль качества; 15 – приемная воронка; 16 – водосборник

Таблица 3.8 - Рекомендуемые составы смесей ХЦ и АХЦ для производства закладочных работ

Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Контрольная характеристика прочности, МПа, сутки		
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода, л	7	28	90
-	1246	170	500	0,7	1,6	2,9
-	1183	240	500	0,9	2,0	3,3
-	1112	320	500	2,3	4,0	6,2
400	853	170	500	1,7	2,3	3,5
600	657	170	500	1,8	2,5	3,7
400	718	320	500	2,1	3,2	5,5
600	521	320	500	2,7	4,8	6,6

На основании проведенных исследований для производства закладочных работ рекомендованы составы смесей ХЦ и АХЦ (таблица 3.8) и технология приготовления закладки (рисунок 3.23).

#### 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ

Одной из важнейших количественных характеристик, используемых для оценки эффективности инвестиционного проекта является себестоимость добычи. Сама себестоимость состоит из нескольких слагаемых: затраты на материалы, энергию, амортизацию оборудования и зарплату рабочим.

Расчет суммы затрат по материалам заключается в перемножении годового объема производства на норму расхода материала и его цены за единицу. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования составят 24716,9 тыс. руб. Расчет цеховых расходов представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Цеховые расходы

Наименование элементов	Сумма, тыс.руб.
Заработная плата цехового персонала	61171,2
ЕСН, 26%	15904,5
Охрана труда и техника безопасности	1223,4
Содержание зданий и сооружений	740,8
Текущий ремонт зданий и сооружений	2222,4
Расходы по изобретению	6423,0
Канцелярские и почтово-телеграфные расходы	62
Амортизация зданий и сооружений	4011,4
Итого	91758,7

Капиталообразующие затраты определяют как сумму средств, необходимых для строительства (расширения, реконструкции, модернизации) и оснащения оборудованием инвестируемых объектов, расходов на подготовку капитального строительства и прироста оборотных средств, необходимых для нормального функционирования предприятий:

собственные финансовые средства;

привлеченные ассигнования из федерального, региональных и местных бюджетов, фондов поддержки предпринимательства, предоставляемые на безвозмездной основе;

иностранные инвестиции, предоставляемые в форме финансового или иного участия в уставном капитале совместных предприятий, а также в форме прямых вложений (в денежной форме) международных организаций и

финансовых институтов, государств, предприятий и организаций различных форм собственности и частных лиц;

различные формы заемных средств, в том числе кредиты, предоставляемые государством на возвратной основе, кредиты иностранных инвесторов, облигационные займы, кредиты банков и других институциональных инвесторов: инвестиционных фондов и компаний, страховых обществ, пенсионных фондов, а также векселя и другие средства.

Первые три группы источников, указанных выше, образуют собственный капитал реципиента. Суммы, привлеченные им по этим источникам извне, не подлежат возврату. Субъекты, предоставившие по этим каналам средства, как правило, участвуют в доходах от реализации инвестиций на правах долевой собственности.

Четвертая группа источников образует заемный капитал реципиента. Эти средства возвращают на определенных заранее условиях (сроки, процент). Субъекты, предоставившие средства реципиенты по этим каналам, в доходах от реализации проекта не участвуют.

Таблица 4.2 - Поток реальных денег от инвестиционной деятельности

Наименование показателя	Значение показателя по шагам, тыс.руб								
	Шаг0	Шаг1	Шаг2	Шаг3	Шаг4	Шаг5	Шаг6	Ликвидация	
Земля	З	0	0	0	0	0	0	0	0
	П								
Здания, сооружения	З	-74080	0	0	0	0	0	0	53522,2
	П								
Машины, оборудование	З	-787020	0	0	0	0	0	0	0
	П								
Нематериальные активы	З	-400	0	0	0	0	0	0	139,6
	П								
Итого:	З	-861500	0	0	0	0	0	0	53661,8
Вложения в основной капитал	П								
Прирост оборотного капитала	З	-86150,0	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	
	П								
Всего инвестиций		-947650,0	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-67508,8	



Коммерческую эффективность, т.е. финансовое обоснование проекта, определяют соотношением финансовых затрат и результатов, обеспечивающих требуемую норму доходности.

Коммерческую эффективность рассчитывают как для проекта в целом, так и для отдельных участников с учетом их вкладов.

При этом в качестве эффекта на  $t$ -ом шаге выступает поток реальных денег. При осуществлении проекта выделяют три вида деятельности: инвестиционную, операционную и финансовую. В рамках каждого вида деятельности происходит приток  $P_i$  и отток  $O_i$  денежных средств.

Потоком реальных денег  $\Phi(t)$  называют разность между притоком и оттоком денежных средств от инвестиционной и операционной деятельности в каждом периоде осуществления проекта.

Текущее сальдо реальных денег  $b(t)$  называют разность между притоком и оттоком денежных средств от всех трех видов деятельности на каждом шаге расчета. Под знаком «З» обозначают затраты (на приобретение активов и увеличение оборотного капитала), учитываемые со знаком «минус»; под знаком «П» – поступления (от их продажи и уменьшения оборотного капитала), учитываемые со знаком «плюс».

Таблица 4.3 - Поток реальных денег от операционной деятельности

Наименование показателя	Значение показателя по шагам, тыс. руб.						
	Шаг 0	Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3	Шаг 4	Шаг 5	Шаг 6
Объем продаж, тыс/т	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Цена, руб./ед.	289,6	324,3	363,3	406,8	455,7	510,3	571,6
Выручка тыс.руб	868744,1	972993,4	1089752,7	1220523,0	1366985,7	1531024,0	1714746,9
Вне реализационные доходы	0	0	0	0	0	0	0
Переменные затраты	381815,8	339310,2	339310,2	339310,2	339310,2	339310,2	339310,2
Постоянные затраты	292263,4	214783,9	214783,9	214783,9	214783,9	214783,9	214783,9
Амортизация зданий	4011,4	17282,3	17282,3	17282,3	17282,3	17282,3	17282,3
Амортизация оборудования	16865	16865	16865	16865	16865	16865	16865
Амортизация нематериальных активов	40	40	40	40	40	40	40
Проценты по кредитам	23754,7	21810,7	21810,7	21810,7	21810,7	21810,7	21810,7
Прибыль до вычета налогов	149994,1	362901,6	479660,8	610431,1	756893,9	920932,2	1104655,0
Налоги и сборы	44686,0	96826,3	126016,1	158708,7	195324,4	236334,0	282264,7
Проектируемый чистый доход	105308,1	266075,3	353644,7	451722,4	561569,5	684598,2	822390,4
Амортизация	20916,1	34187,0	34187,0	34187,0	34187,0	34187,0	34187,0
Чистый приток операционной деятельности	126224,2	300262,2	387831,6	485909,4	595756,5	718785,2	856577,3

Цену за единицу продукции установлена (прогнозируется) для горно-строительной продукции по данным индексов 400 руб./т, удорожания, стоимости строительства объектов Регионального центра цен в строительстве Красноярского края. Для продукции прочего назначения цену за единицу устанавливают с учетом уровня инфляции обоснованного Комитетом статистики РФ.

Проценты по кредитам устанавливают с учетом поступления заемных средств: краткосрочных и долгосрочных кредитов, а также с учетом погашения задолженностей.

Таблица 4.4 - Поток реальных денег от операционной деятельности

Наименование показателя	Значение показателя по шагам, тыс. руб.						
	Шаг 0	Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3	Шаг 4	Шаг 5	Шаг 6
Собственный капитал	947650,0	0	0	0	0	0	0
Краткосрочные кредиты	-121570,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6	-121170,6
Долгосрочные кредиты	-22750	0,0	0	0	0	0	0
Погашение задолженностей	144320,6	121170,6	121170,6	121170,6	121170,6	121170,6	121170,6
Выплата дивидендов	-10530,8	-26607,5	-35364,5	-45172,2	-56156,9	-68459,8	-82239,0
Сальдо финансовой деятельности	937119,2	-26607,5	-35364,5	-45172,2	-56156,9	-68459,8	-82239,0

Собственный капитал составил 947650 тыс. руб, краткосрочный кредит - 121570,6тыс. руб, долгосрочные кредиты - 22750, погашение задолженностей составляет 121170,6, выплата дивидендов 10% от проектируемого чистого дохода.

Для проекта в целом сальдо финансовой деятельности определяют суммированием со своим знаком 937119,2 тыс. руб.

Таблица 4.5 - Чистая ликвидационная стоимость объекта

Наименование	Здания	Машины, оборудование	НМА.	Всего
Рыночная стоимость	55200,2	0,0	144,0	55344,2
Затраты	74080	787020	400	861500
Начислено амортизации за период Т	28079,8	787020	280	815379,8
Балансовая остаточная стоимость на Т-ом шаге	46000,2	0,0	120,0	46120,2
Затраты по ликвидации	2208,0	0	5,76	2213,8
Доход от прироста стоимости капитал	нет	нет	нет	нет
Операционный доход (убытки)	6992,0	0,0	18,2	7010,3
Налоги	1678,1	0,0	4,4	1682,5
Чистая ликвидационная стоимость	53522,2	0,0	139,6	53661,8



Чистый дисконтированный доход определяю как сумму текущих эффектов за весь расчетный период, приведенную к начальному шагу, или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами. Если в течение расчетного периода не происходит инфляционного изменения цен или расчет производят в базовых ценах. Если ЧДД инвестиционного проекта положителен, проект считают эффективным (при данной норме дисконта) и рассматривают вопрос о его принятии.

Индекс доходности представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине приведенных капиталовложений.

Срок окупаемости - период, измеряемый в месяцах, кварталах или годах, начиная с которого, первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления.

Таблица 4.7 - Основные ТЭП

Наименование показателей	По проекту
Годовой объем реализованной продукции, тыс. руб	726900,00
Себестоимость добычи, руб/т	727,43
Капитальные затраты, руб/ед	861100,00
Списочный состав ПП, чел	255,00
ФЗП, тыс. руб/год	222685,16
Амортизация, всего тыс. руб	122064,40
Прибыль, тыс. руб	31800,00
Прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия, тыс. руб	7632,00
Рентабельность производства, %	13
Рентабельность продукции, %	15
Фондоотдача, руб./руб	0,84
Фондоемкость, руб./руб	1,18
Срок окупаемости заемных средств, лет	1,00
Срок окупаемости капитальных затрат, лет	5,00
Чистый доход, тыс. руб	2473453,7
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб	737911,6
Индекс доходности, д.е	1,53

В результате приведенных расчетов произведена оценка экономической эффективности разработанной технологии путем приведения стоимостных показателей к одному моменту времени, произведен расчет капитальных затрат на строительство предприятия, произведено планирование организации труда и расчет заработной платы, себестоимости руды и основных технико-экономических показателей для этого предприятия.

Разработанные составы и рекомендации технологии приготовления закладочных смесей прошла лабораторную проверку в ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет». Результаты выполненной работы используется в учебном процессе кафедры «Горные машины и комплексы» ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет» (лабораторные и практические занятия, раздел курса лекций ) при подготовке студентов специальности «Горное дело», специализация «Подземная разработка рудных месторождений».

Внедрение результатов работы подтверждается актами о внедрении и использовании результатов работы , которые представлены в приложениях Д, Е.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, изложены научно обоснованные технические и технологические решения актуальной научно-практической задачи по разработке технологии закладки выработанного пространства твердеющими смесями с использованием хвостов обогащения, имеющие важное значение для развития горнодобывающей отрасли России. Основные научные и практические результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. Определены закономерности повышения прочностных и реологических свойств ЛТС с использованием хвостов обогащения ТОФ-2 при различных способах обработки в технологиях их приготовления.

2. Обосновано применение гидроударно-кавитационного воздействия на материалы закладочной смеси с использованием хвостов обогащения.

3. Разработана установка, обеспечивающая воздействие гидроударно-кавитационных импульсов на материалы твердеющих смесей с использованием хвостов обогащения.

4. Разработана технология закладки выработанного пространства хвостами обогащения с применением гидроударно-кавитационного смесителя.

5. Проведены лабораторные исследования предлагаемых устройства и технологии производства литых твердеющих смесей для закладки выработанного пространства.

6. Изучены механизмы набора прочности литых твердеющих смесей в исследуемых технологиях.

7. Установлено, что разработанная технология закладки выработанного пространства обеспечивает интенсивность совместного перемешивания материалов твердеющей смеси, гомогенизацию, обновление их гидратирующих поверхностей, ведущее к расширенному прохождению

твердофазных химических реакций и как следствие к повышению прочности формируемого закладочного массива.

8. Проведена апробация разработанной технологии закладки выработанного пространства хвостами обогащения ТОФ-2 и рекомендованы рецептуры составов для закладки на руднике «Комсомольский».

9. Выполнена экономическая оценка применения закладочных смесей различных составов и марок на примере рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель».

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Светлаков К.Н., Атманских С.А. Техника и технология ведения закладочных работ на рудниках цветной металлургии. – М.,1980, 39 с.
2. Закладочные работы в шахтах. Справочник под редакцией Бронникова Д.М., Цыгалова М.Н. – Москва «Недра», 1989, 400 с.
3. Джавршеишвили А.Г., Силагадзе В.А., Инашвили А.К., Шавгулидзе Ш.В. Закладочное хозяйство шахт и рудников, М.: Недра, 1978. - 280 с.
4. Байконуров О.А., Мельников В.А., Крупник Л.А. Поземная разработка месторождений с закладкой. - Алма-Ата, Наука, 1972.
5. Кравченко В.П., Куликов В.В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений, М.: Недра, 1974. - 200 с.
6. Разработка эффективных технологических схем добычи руды и формирования закладочного массива при нисходящей слоевой системе разработки: Диссертация ... канд. техн. наук /С.И. Фаустов, Восточ. научно-исслед. горно-металлург. ин-т цв. металлов. - Усть-Каменогорск, 2002. - 105 с.
7. Разработка технологии формирования искусственной кровли при нисходящей слоевой системе разработки: Диссертация ... канд. техн. наук /А.И. Барилюк; Восточно-Каз. гос. техн. ун-т им. Д. Серикбаева. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2005. - 105 с.
8. Разработка Орловского месторождения системой горизонтальных слоев в нисходящем порядке /Барилюк А.И. и др. //Горный журнал, 2002, №5. - С. 55-58.
9. Ковалев О.В., Минаев Ю.Л., Минаев Д.Ю. Обоснование восходящего порядка отработки глубоких горизонтов рудника «Северный» ОАО «Кольская ГМК» //Записки Горного института. - Санкт Петербург, 2002. - т. 152. - С. 74-77.
10. Аглюков Х.И. Совершенствование технологии закладочных работ //Горный журнал. - 2003. - № 1. - С. 35-38.

11. Байконуров О.А., Крупник Л.А., Мельников В.А. Определение состава бетона заданной прочности при возведении искусственных целиков //Цветная металлургия, 1970, №5.
12. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий. М.: Изд-во МГГУ, 2003. - 795 с.
13. Агошков М.И., Борисов С.С., Боярский В.А. Разработка рудных и нерудных месторождений. М., Недра, 1983.
14. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. – М., Недра, 1982.
15. Иофин С.Л., Белов Л.В. и др. Технический прогресс на горнодобывающих предприятиях свинцово-цинковой промышленности. – Цветная металлургия, 1976, № 22, С. 7-11.
16. Передовой опыт применения твердеющей закладки при добычи железных руд. – М.: Черметинформация, 1979, 52 с.
17. Середа Б.К., Цыгалов М.Н. Технология приготовления твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: ЦИИНцветмет, 1964.
18. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. – М.: Недра, 1984.
19. Цыгалов М.Н. Подземная разработка с высокой полнотой извлечения руд. – М.: Недра, 1985, 272 с.
20. Вяткин А.Н., Горбачев Д.Г., Рубцов В.Н. Твердеющая закладка на рудниках. – М., Недра, 1983.
21. Воронин В.С. Способы повышения конечной прочности закладочного бетона. - Горный журнал, 1975, № 11, с. 37-41.
22. Гертман В.П., Атманских С.А., Светлаков К.Н. Влияние расхода воды и зернового состава заполнителей на качество закладки. – М.: Горный журнал, 1982, № 5, с. 28-31.

23. Илюшин А.П. Обоснование технологических свойств твердеющей закладки с крупным заполнителем. – Автореферат дис. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. – Свердловск, 1984.

24. Вольхин Б.А., Смирнов Т.Н. и др. Опыт управления горным давлением при системах с твердеющей закладкой на рудниках Урала. – М.: Цветметинформация, 1976, с. 48.

25. Мясников К.В., Руденко В.В. Применение твердеющей закладки при разработки рудных месторождений. – М.: Недра, 1964.

26. Цыгалов М.Н., Слащилин И.Т., Замосковцева Г.Д. Влияние материалов на качество монолитной закладки. – Горный журнал, 1981, № 5, с. 27-28.

27. Смирнов К.А., Репп К.Ю. Опыт применения твердеющей закладки на Гайском руднике. – М.: ЦИИИцветмет, 1966.

28. Бронников Д.М., Замесов Г.С., Киличенко Г.И. Основы технологии подземной разработки рудных месторождений с закладкой. – М., Наука, 1973.

29. Горохов А.В. Техническая вооруженность Зыряновского рудника в XIX в. (исторический экскурс) //Зыряновский свинцовый комбинат и научно-технический прогресс, М: Центральный НИИ экономики и информации цветной металлургии, 1991. - С. 25-37.

30. Соболев И.Т., Носкин И.И., Крупник Л.А. Совершенствование технологии закладочных работ //Зыряновский свинцовый комбинат и научно-технический прогресс, М: Центральный НИИ экономики и информации цветной металлургии, 1991. - С. 90-97.

31. Крупник Л.А. Совершенствование технологии закладки //Совершенствование методов подземной разработки Зыряновского месторождения, Алма-Ата: Казахстан, 1975. - С. 124-163.

32. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф. Проблемы разработки обширных рудных залежей пологого залегания системами с закладкой выработанного пространства. – М., Наука, 1971.
33. Зайцев О.Н., Кушеков Х.К., Имошин А.П., Джалмухамбетов Ж.Д., Турсунов Н.Ж. Применение твердеющей закладки на шахте № 57 Дзезказганского ГМК.- Горный журнал, 1978, № 1.
34. Коган В.Н. Новая технология закладочных работ. – Безопасность труда в промышленности, 1978, № 7, с. 46-47.
35. Требуков А.Л. Применение твердеющей закладки при подземной добычи руд. – М.: Недра, 1981.
36. Ариоглу Э., ЛюКечжень и др. Разработка месторождений с закладкой. М., Мир, 1987.
37. Зырянов А.Г., Ковалевская В.Т. Применение твердеющей закладки на рудниках Канады. – Цветная металлургия, 1972, № 11, с. 10-12.
38. Ерофеев И.Е., Едильбаев И.Б., Соколов Г.В., Николаев Е.И. Типизация и унификация технологических схем закладочных комплексов на рудниках Казахстана. – Алма-Ата.: КазНИИНТИ, 1982.
39. Городецкий П.И., Паненков Ю.И. Вопросы применения бетонных опор и цементированной закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Госгортехиздат, 1960.
40. Гулий В.М. Исследование элементов систем разработки и планирования горных работ в условиях Текелийского рудника. – Автореф.дисс. на соиск. учен.степени канд. техн. наук, Алма-Ата, 1969.
41. Крупник Л.А. Исследование свойства и выбор рациональных составов твердеющей закладочной смеси. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Алма-Ата: 1971, 91 с.
42. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. – М., Недра, 1982.

43. Зайцев О.Н., Николаев Е.И. Совершенствование закладочных работ на Джебказганском горно-металлургическом комбинате. – М.: Горный журнал, 1983, № 5, с. 23-25.

44. Кравченко В.П., Куликов В.В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1974.

45. Егорочкин А.А. Новые технологические разработки на Тишинском руднике //Материалы конференции «Актуальные вопросы развития технологий добычи и переработки руд цветных и благородных металлов: ВНИИцветмет, Усть-Каменогорск, 2005. - С. 38-45.

46. Разработка ресурсосберегающей технологии закладочных работ на основе оптимизации компонентов закладочной смеси: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук /С.Н. Шапошник, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева. - Алматы, 2009. - 34 с.

47. Закладка пустой породой подземных выработок. RegelungenzumumweltgerechtenVersatz von AbfallerTage. Galvanotechnik, 2002, 93, № 10. - С. 2722-2723.

48. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Гидравлическая закладка на калийных рудниках // ГИАБ, №6, 2007. - С. 214-218.

49. Каплунов Д.Р., Калмыков В.Н., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. - М.: Руда и металлы, 2003. - 560 с.

50. Mc. GreedyI., TaylorW.I. TheuseofhydraulicfillundergroundattheinternationalNickelCompanyofCanada, Limited. «CanadianMiningJournal», 1960, v. 81, № 9.

51. SkiellingsMiningReview, 1988, № 35.

52. Зеленков В.Е., Кульсартов В.К., Мусина А.А. и др. Электромагнитная активация воды затворения твердеющей закладки горных выработок //Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Новочеркасск, 1975. - С. 199-204.

53. Михановский Д.С, Леус Э.Л. Применение магнитной обработки воды в производстве бетона //Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, М., 1971. - С. 214-217.

54. Повх И.Л., Совпель В.Б., Бычин Н.А. Магнитная и электролитическая обработка воды при производстве бетона //Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, М., 1971. - С. 227-228.

55. Помазкин В.А., Макаева А.А. Бетонная смесь на омагниченной воде затворения //Теория и практика применения суперпластификаторов в композиционных строительных материалах, Пенза, 1993. - С. 36.

56. Агошков М.И., Бурцев Л.И., Требуков А.Л., Твердеющая закладка из хвостов обогатительных фабрик //Горный журнал, 1963, №1. - С.41-44.

57. Балах Р.В. Разработка месторождений с закладкой хвостами обогащения, Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. - 231 с.

58. Юн А.Б, Мамахов Н.С. и др. Закладка выработанных пространств хвостами обогатительной фабрики //Горный журнал. Специальный выпуск, 2005. - С. 15-16.

59. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей. Академия наук СССР, Кольский научный центр, Горный институт, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья, Апатиты, 1990.

60. Ресурсосберегающие технологии добычи руды на Малеевском руднике Зыряновского ГОКа (АО «Казцинк») /Ю.П. Гусев, Е.П. Березиков, Л.А. Крупник и др. //Горный журнал.- 2008, №11. - С. 20-22.

61. Музгина В.С. Экологические аспекты использования твердых отходов производства и технологии закладочных работ //Труды I межд. конф. «Вопросы комплексной переработки сырья Казахстана», Астана: Фолиант, 2003. - С. 392-394.



62. Едильбаев А.И., Музгина В.С. Комплексное использование твердых отходов и местных материалов в технологии закладочных работ, Алматы, 2002. - 146 с.

63. Улазовский В.Л., Ананьина С.А. К вопросу о механизме магнитной обработки воды и стабильности эффекта затворения ею вяжущих и бетона //Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем, Новочеркасск, 1975. - С. 204-207.

64. Баженов Ю.М., Аносова Г.В., Еворенко Г.И. Повышение эффективности бетона добавкой модифицированных лигносульфонатов //Бетон и железобетон, 1991.- №11.- С.10-11.

65. Глазкова С.В., Сергиенко Л.Н., Харченко А.В. и др. Новая пластифицирующая добавка //Бетон и железобетон, 1989. - № 6. - С. 19-20.

66. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона //Бетон и железобетон, 1992. - № 7. - С. 4-7.

67. Исследование свойств цементных бетонов с модифицированными лигносульфонатами: Автореф. дисс.... канд. техн. наук/ Коротин А.И., Саратов, 1994. - 16 с.

68. Левин Л.И., Тарасов В.Н. Влияние вида мелкого заполнителя на свойства бетона с пластификатором //Бетон и железобетон, 1990. - №10. - С.13-15.

69. Лемехов В.Н., Ваидаловская Л.А., Молукалова Е.Л. и др. Пластификатор полифункционального действия для бетона //Бетон и железобетон, 1987. - № 4. - С. 23-24.

70. Белов Г.М., Печенкин В.Д., Цыгалов М.Н. Взаимосвязь физикомеханических свойств монолитной закладки с ее качественным и количественным составом // Сб. науч. тр. Магнитогорского горно-металлургического ин-та им. Н.Н.Носова. – 1975, вып. 145, с. 13-18.

71. Балах Р.В., Прокушев Г.А., Стрельникова Р.П. Механические свойства закладки из хвостов обогащения руд Джеккагана // В сб. «Совершенствование технологии горных работ на Джеккаганском месторождении» Институт Горного дела Академии наук Каз. ССР. – Алма-Ата: Труды ИГД АН Каз.ССР, 1979, т.56.

72. Ерофеев И.Е., Крупник Л.А., Соколов Г.В. Использование хвостов обогатительных фабрик для закладки на рудниках цветной металлургии Казахстана. – Вып. 1 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на предприятиях цветной металлургии». – М.: изд. ЦНИИцветметэкономики и информатики, 1986.

73. Крупник Л.А., Соколов Г.В., Герасимов В.С. Технология закладочных работ с полным использованием хвостов обогащения. В кн.: Совершенствование технологии добычи руд с закладкой на рудниках Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1986, с. 81-106.

74. Болдырев В.В., Аввакулов Е.Г. Механохимия твердых вяжущих веществ // Успехи химии. – 1971.-т. 44, № 10, с. 1835-1856.

75. Байконуров О.А., Крупник Л.А., Коган Е.И. Способ приготовления закладочной смеси (Ачисайский политехнический комбинат «Ачиолимет». – Авт. изобр. заявл. 1982). – А.С. № 6662735 (СССР).

76. Лаптева Е.С., Юсупов Т.С., Бергер А.С. Физико-химические изменения слоистых силикатов в процессе механической активации. – Новосибирск: Наука, 1981.

77. Студзинский С.А. Об использовании местных материалов и отходов производства для вяжущих в твердеющей закладке. – Горный журнал, 1977, № 1, с. 48-50.

78. Зурков Е.П. К вопросу моделирования технологического процесса закладочного комплекса. – Межвузовский сборник «Подземная разработка мощных шлаков для изготовления твердеющей закладки. – Горный журнал, 1971, № 6, с. 45.

79. Анушенков А.Н. Совершенствование технологии приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на закладочных комплексах рудников НГМК // Материалы Всесоюзного семинара «Управление развитием горных работ при подземной разработке рудных месторождений». – Красноярск, 1987, с. 27-28.

80. Белаш А.С., Ковалев А.Ф., Линник Г.Ф. Разработка железнорудных месторождений с закладкой. – Киев, Наукова думка, 1969.

81. Батурина Г.М. Эффективность применения отходов глиноземного металлургического производства для приготовления закладочных смесей // Сб. тр. Всесоюзного научно-исследовательского горно-металлургического ин-та цвет.мет., 1976, № 27, с. 86-89.

82. Гертман Л.К. Применение зол ТЭЦ для приготовления твердеющей закладки. – В кн.: Совершенствование технологии добычи и обогащения руд цветных металлов. – Свердловск, 1983, с. 56-64.

83. Гертман Л.К., Атманских С.А., Субботина Т.А. Твердеющая закладка на основе никелевых шлаков. – Тр. Урал.научно-исслед. и проектного ин-та медной промышленности, 1978, вып. 21, с. 22-24.

84. Глуховеров А.Л., Сайкуров Р.А., Золотых Т.В. О возможности применения хвостов обогатительной фабрики в качестве мелкого заполнителя для закладочных бетонов. – Сб. тр. Белгор. технол. ин-та строительных материалов им. Гришманова, 1976, вып. 21, с. 70-77.

85. Заровнятных В.Л., Портнов Ф.М. Применение никелевых гранулированных шлаков для изготовления твердеющей закладки. – Горный журнал, 1971, № 6, с. 45.

86. Иманголиев А.И., Терентьев Н.А., Репп К.Ю. Технология получения твердеющей закладки в условиях Джезказгана. – Горный журнал, 1972, № 11, с. 30-32.

87. Малетин А.В., Мохов А.И., Штеле В.И., Анушенков А.Н., Осеев О.Б. Исследование факторов, влияющих на прочность твердеющих

закладочных смесей. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: Наука, 1992, с. 84-91.

88. Волков, Е. П. Разработка рецептур и механизма активации закладочных смесей для подземной разработки полезных ископаемых с использованием хвостов обогащения / Е. П. Волков, С.А. Вохмин, А.Н. Анушенков, А.И. Голованов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и Технологии / Сиб. фед. Ун-т ; Красноярск, 2014. – Т. 7, № 3. – С. 295–303.

89. Волков Е.П., Лабораторные исследования по подбору составов закладочных смесей с использованием породной части хвостов обогащения [Электронный ресурс] / Е.П. Волков, П.А. Тодинов, А.И. Голованов // М75 Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска - Красноярск. - 2013. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-010.pdf>

90. Волков Е.П., Результаты исследования расплыва по Суттарду смесей составов АХЦ (А-600 Ц-320) и ХЦ (Ц-320) [Электронный ресурс] / Е.П. Волков, А.Н. Анушенков, А.И. Голованов // М75 Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска – Красноярск/ - 2013. - Режим доступа:<http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

91. Волков Е.П., Анушенков А.Н., Голованов А.И. Исследования по подбору и составу закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ с применением хвостов обогащения ТОФ // Сборник научных статей V Международного Конгресса и Выставки «Цветные металлы - 2013», Красноярск, 2013.

92. Волков Е.П., Голованов А.И. Лабораторные исследования по подбору и составу закладочных смесей марки ХЦ с использованием породной части хвостов обогащения // Цветные металлы -2014: Сб.тезисов докладов. – Красноярск: Версо, 2014 г. – с.76-77.

93. Волков Е.П., Анушенков А.Н. Разработка рецептур твердеющих смесей на основе породных хвостов обогащения для закладки подземных выработок Норильского горно-металлургического комбината // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: Научн. журнал. – Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2014 г. – с.207-211.

94. Волков Е.П. Исследования рецептур и механизма активации закладочных смесей для подземной разработки полезных ископаемых // Сборник научных статей II Всероссийской научной конференции с международным участием Малышевские чтения, Старый Оскол, 2015.

95. Волков Е.П., Разработка технологии закладки горных выработок [Электронный ресурс] / Е.П. Волков, А.Н. Анушенков // М75 Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска – Красноярск/ - 2015. - Режим доступа:<http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

96. Волков Е.П., Технология приготовления литой твердеющей закладки из отходов производства [Электронный ресурс] / Е.П. Волков, Д.П. Ляхов // М75 Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска – Красноярск/ - 2015. - Режим доступа:<http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

97. Пат. 2550609 Российская федерация, мпк В 28 С 5/08. Смесительно-активирующее устройство для жидких сред / Волков Е.П., Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н. Опубл. 10.05.2015 Бюл. №13.

98. Пат.2607329 Российская федерация, мпкЕ 21F15/00. Способ приготовления литых твердеющих закладочных смесей на основе мелкодисперсного заполнителя / Анушенков А.Н., Волков Е.П.,Стовманенко А.Ю.

99. Волков Е.П. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей, при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: учеб. Пособие / А.Н. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, Е.П. Волков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 208 с.

100. Системы разработки с закладкой выработанного пространства [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие [для студентов, обучающихся по специальности 130400 «Горное дело»] / Сиб. федер. ун-т, Институт горного дела, геологии и геотехнологий ; сост.: А. Н. Анушенков, Е. П. Волков. - Электрон.текстовые дан. (pdf, 3,09 Мб). - Красноярск : СФУ, 2016. - 89 с.

101. Волков Е.П. Подземная геотехнология: учеб. Пособие / А.Н. Анушенков, и др. – Красноярск :Сиб. федер. ун-т, 2017. – 301 с.

102. Волков, Е.П.Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района / Е.П. Волков, А.Н. Анушенков, П.С. Гузанов, А.Э. Лытнева // Горный журнал. – Москва. – 2015, - №6. – С. 85-87.

103. Волков Е.П., Стовманенко А.Ю., Анушенков А.Н. Совершенствование технологии и оборудования для утилизации твердых промышленных отходов, путем добавления их в состав литых твердеющих закладочных смесей // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. №4(48). С. 84-89.

104. Волков Е.П., Вохмин С.А., Голованов А.И. Методические положения по выбору рациональных составов закладочных смесей на основе их экономико-технологического сравнения // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19584> (дата обращения: 07.06.2015)

105. Волков Е.П., Анушенков А.Н. Developing the technology of mine stowing with processing tailings based hardening blends // Известия высших учебных заведений. Горный журнал 2019. №7. С. 5-13.

106. Битимбаев М. Ж., Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. Алматы: Дауір, 2012 624 с.

107. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н., Турсунбаева А. К. Технология закладочных работ на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан // ФТПРПИ. 2013 № 1 С. 95–105.

108. Chen G. Y. and Huang W. H. Investigation on blending CFB ash with blast furnace slag as replacement for Portland cement used in concrete binders. Adv. Mater. Res. 2013 Vol. 723 P. 623–629.

109. Kroupnik L., Abdykalykova R., Elemesov K., Śladkowski A., Shaposhnik Yu., Shaposhnik S. Combined pipeline transport for hardening filling Mixtures. VIII Int. Conf. "Transport Problems". Catowice, Poland, 2016 P. 258–265.

110. 5 Deng D. Q., Liu L., Yao Z. L., Song K. I., and Lao D. Z. A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine. J. Environ. Manage. 2017 Vol. 196 P. 100–109.

111. Hu S. G., Lu X. J., Niu H. L. and Jin Z. Q. Research on preparation and properties of backfilling cementation material based on blast furnace slag. Adv. Mater. Res. 2011 Vol. 158 P. 189–196.

112. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н. Разработка технологии закладочных работ на проектируемом Ново-Лениногорском руднике // ГИАБ. 2015 № 8 С. 25–32.

113. Ke X., Zhou X., Wang X., Wang T., Hou H., and Zhou M. Effect of tailings fineness on the pore structure development of cemented paste backfill. *Constr. Build. Mater.* 2016 Vol. 126 P. 345–350.

114. Гребенкин С. С., Мельник В. В. Прогрессивные технологии подземной отработки запасов месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанных пространств. Донецк: ВИК, 2013 752 с.

115. Николаев Е. И., Гультияев В. Г., Кожбанов К. Х. Новая технология приготовления твердеющей закладки на Орловском руднике // Горный журнал. 2002 № 5 С. 58–60.


116. Крупник Л. А., Шапошник Ю. Н., Шапошник С. Н. Перспективные направления транспортирования закладочной смеси в шахту на горнодобывающих предприятиях Казахстана // Горное оборудование и электромеханика. 2015 № 4 С. 21–28.

117. Балабышко А. М. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992 176 с.



**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

УТВЕРЖДАЮ  
 Главный инженер рудника  
 «Комсомольский»  
 ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»

  
 А.В. Доловов  
 « 17 » 11, 2011 год

**Временный регламент**  
 отбора проб технологических продуктов

Исполнитель: ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»; ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

**1. Методика и способ отбора проб технологических продуктов**

- 1.1. Ангидрит после прохождения через молотковую дробилку №2 отобрать в мешки из полиэтиленовой и полипропиленовой ткани по 25 килограммов каждый.  
 1.2. Портландцемент отобрать на ленточном конвейере №9 в мешки из полиэтиленовой и полипропиленовой ткани по 25 килограммов каждый.  
 1.3. Хвосты отвальные из бака сгущенных хвостов налить через сливной патрубок в 5 бочек объемом 200 литров каждая.

**2. Порядок нумерации и маркировки проб**

- 2.1. В номере пробы указывается:  
 - аббревиатура подразделения ЗФ;  
 - сокращенное название пробы;  
 - год отбора;  
 - порядковый номер пробы и упаковки.

2.2. Аббревиатуры подразделений и получателя.

- 2.3. Сокращенные названия:  
 анг - ангидрит  
 цем - цемент марки М 300  
 пхв - породные хвосты ТОФ

*Пример:*

ФГАОУ ВПО «СФУ» РК анг 2011/ 08 - проба ангидрита с порядковым номером мешка 8, отобранная на руднике «Комсомольский» в 2011 году для ФГАОУ ВПО «СФУ».

2.4. Маркировка каждого мешка/пакета/бочки дублируется этикеткой, вложенной в упаковку.

2.5. На каждом мешке, помимо номера пишется адрес получателя:

**РФ, 660025, г. Красноярск, пр. Красноярский рабочий, д. 95, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»**

**3. Порядок оформления и передачи проб**

Упакованные и маркированные пробы технологических продуктов с комплектом документов передаются на коммерческий склад ООО «Аэропорт «Норильск».

Составил:  
 Зам гл. инженера рудника «Комсомольский»

  
 О.Г. Норкин

Согласовано:  
 Доцент кафедры ПРМ ФГАОУ ВПО «СФУ»

  
 А.И. Голованов.

Норильский Никель  
 для сведения и работы  
 01.12.2011



### НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ  
 ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЗАПОЛЯРНЫЙ ФИЛИАЛ

КОНТРОЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

а/я 1409, ул. Советская, д. 8, г. Норильск, Россия, 663300, тел. (3919)48 26 02, факс (3919)48 33 00, e-mail: chi@nk.nornik.ru

01.12.2011 № ЗФ-351 54 75

На № ЗФ-49/5463 от 24.11.2011

Главному инженеру рудника  
 «Комсомольский»  
 ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»  
 А.В. Доловову

О выполнении гранулометрического  
 состава породных хвостов

Уважаемый Андрей Викторович!

Направляю Вам результаты гранулометрического состава породных хвостов, используемых для приготовления закладочной смеси на ОПУ ПЗК ЗЭС рудника «Комсомольский».

Приложение: справка на 1 л. в 1 экз.

Начальник

И.В. Дмитриев

Григорьева  
 444821



Справка  
 о результатах гранулометрического состава породных хвостов

Дата	Классы крупности, мм	Выход			
		Проба № 1		Проба № 2	
		г	%	г	%
29.11.2011	+ 0,250	12,6	2,52	36,4	7,28
	+ 0,170	126,1	25,22	315,8	63,16
	+ 0,080	31,6	6,32	20,0	4,00
	+ 0,074	77,7	15,54	62,7	12,54
	+ 0,063	50,2	10,04	23,2	4,64
	+ 0,045	110,9	22,18	27,4	5,48
	- 0,045	90,9	18,18	14,5	2,90
	<b>Итого</b>	<b>500,0</b>	<b>100,0</b>	<b>500,0</b>	<b>100,0</b>

Начальник ОУКК СиПО

Григорьева В.А.



## НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ОПОРНОЕ ПРАВОЕ ПУБЛИЧНОЕ  
ЗАКРЫТОЕ ОБЩЕСТВО

ЗАКРЫТЫЙ ФИЛИАЛ

ЦЕНТР ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Центра геодинамической  
безопасности ЭФ ОАО «ГМК  
«Норильский никель»

А.Г. Анисин

2013

### АКТ

13 июня 2013 г.

№ ЭФ-89/42 -акт

лабораторных испытательных образцов  
закладочных смесей АХЦ и ХЦ  
кварты «Комсомольская»

Основание: п. 9.3 плана работ Центра геодинамической безопасности на 2013 год, утвержденного и.о. заместителя Директора ЭФ ОАО «ГМК «Норильский никель» по минерально-сырьевому комплексу от 28.12.2012.

Составил комиссию:

- Председатель комиссии: главный инженер Центра геодинамической безопасности Марьясов В.П.  
Члены комиссии: 1. Начальник отдела совершенствования технологий горных работ  
Наговицын Ю.Е.  
2. Главный специалист отдела Гумизов П.С.  
3. Инженер по горным работам 2 категории Лытнева А.Э.

В настоящее время на кварты «Комсомольская» рудника «Комсомольский» проходит обязательные-пробные-испытания (далее – ОПИ) закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ в дробилках М10-М100 с привнесением смесей обогащения ГОФ. Научное сопровождение ОПИ выполняет ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» согласно договору от 11.09.2011 № 30422.

Целью ОПИ является подтверждение характеристик новых рецептур закладочных смесей на соответствие требованиям РТТП-045-2004.

Контрольные образцы закладочных смесей АХЦ и ХЦ, по 15 штук каждого состава, были предоставлены в ЦГБ с ПЗК шахты «Комсомольская» 24.12.2012 и 27.12.2012 соответственно. Данными закладочными смесями, 14.12.2012 и 17.12.2012 соответственно, была произведена закладка ленты 109 панели 5.

В настоящем акте представлены результаты лабораторных испытаний закладочных смесей АХЦ (ангидрит-хвосты-цемент) и ХЦ (хвосты-цемент) по определению прочности их контрольных образцов во все сроки твердения, предусмотренные РТТП-045-2004.

Состав и расход закладочных материалов в опытных закладочных смесях и в их базовых составах приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Рецептуры опытных закладочных смесей АХЦ и ХЦ и базовых составов ШХЦ М 30 и ПЦ М 20

Состав	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>					
	Шлак	Песок	Ангидрит	Хвосты	Цемент	Вода
АХЦ	-	-	600	657	170	500
ХЦ	-	-	-	1246	170	500
базовый ШХЦ М 30	600	-	-	800	170	500
базовый ПЦ М 20	-	1250	-	-	170	500

Результаты испытания образцов закладочных смесей на прочность при одноосном сжатии в возрасте 3, 7, 28, 90 и 180 суток приведены в таблице 2 и на графике (рисунок 1).

Т а б л и ц а 2 – Прочности опытных закладочных смесей АХЦ и ХЦ и базовых составов ШХЦ М 30 и ПЦ М 20

Состав	Прочность, МПа				
	3 суток	7 суток	28 суток	90 суток	180 суток
АХЦ	1,0	1,2	2,3	3,6	3,5
ХЦ	0,8	0,9	1,5	2,2	2,1
базовый ШХЦ М 30	0,6	0,9	1,5	2,5	3,0
базовый ПЦ М 20	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0

Как видно из таблицы 2 и рисунка 1, прочность закладочной смеси АХЦ в ранние сроки (3, 7 и 28 суток) твердения существенно превышает прочность базового состава ШХЦ М 30, расход цемента у которого составляет также 170 кг/м<sup>3</sup>. Так в возрасте 3 суток ее прочность на 66,7 %, в возрасте 7 суток – на 33,3 %, в возрасте 28 суток – на 53,3 % выше прочности базовой закладочной смеси ШХЦ М 30 в эти же сроки твердения.

В возрасте 90 суток прочность закладочной смеси АХЦ на 40,0 % выше прочности базового состава.

К возрасту 180 суток рост прочности образцов закладочной смеси АХЦ прекращается. Обусловлено это тем, что по всем образцам данной смеси происходит разрушение вследствие развития разноориентированные трещины. Тем не менее прочность закладочной смеси в этом возрасте превышает на 16,7 % прочность базового состава.

Динамика твердения данной закладочной смеси с равных сроков твердения (3, 7 и 28 суток) и к возрасту 90 суток выше динамики набора прочности базовой закладочной смеси ШХЦ М 30. А к возрасту 180 суток происходит существенное снижение ее динамики набора прочности по сравнению с аналогичной для базового состава.

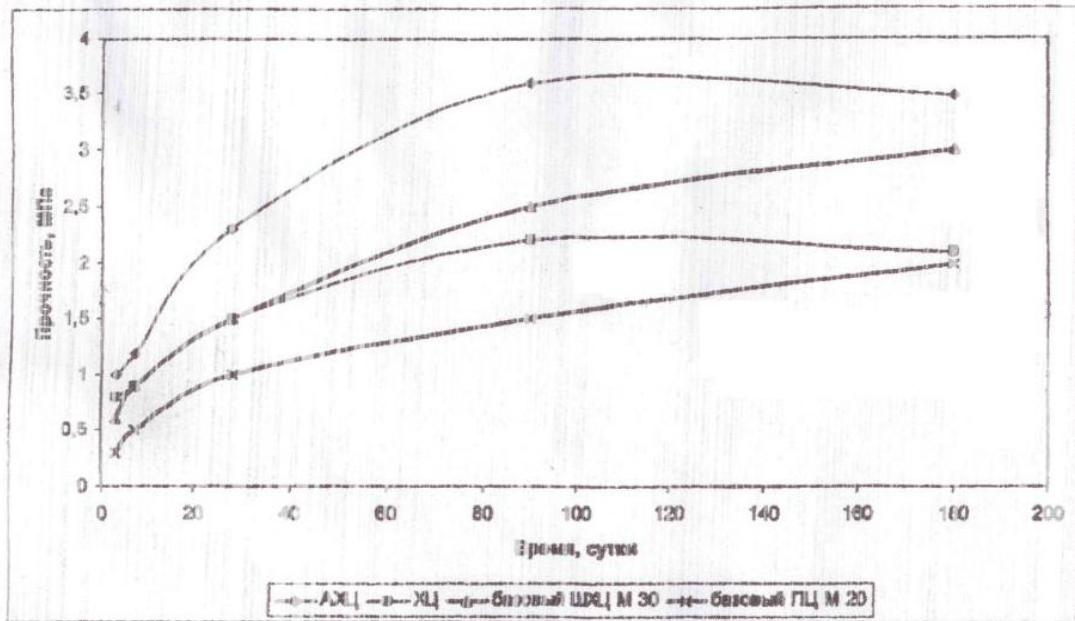


Рисунок 1 — Динамика набора прочности опытыми закладочными смесями АХЦ и ХЦ и базовыми составами ЦЩЦ М 30 и ПЦ М 20

Прочность закладочной смеси ХЦ в ранние сроки (3, 7 и 28 суток) твердения выше прочности базового закладочного состава ПЦ М 20, расход цемента у которого является таким же ( $170 \text{ кг/м}^3$ ) как и у данной смеси. Так в возрасте 3 суток прочность опытной закладочной смеси на 166,7 % больше прочности базового закладочного состава ПЦ М 20 и на 33,3 % больше прочности закладочного состава ЦЩЦ М 30. В возрасте 7 суток прочность данной опытной смеси на 80,0 %, а в возрасте 28 суток на 53,3 % больше прочности базового закладочного состава ПЦ М 20 и соответствует прочности закладочного состава ЦЩЦ М 30 в эти же сроки твердения.

В возрасте 90 суток прочность закладочной смеси ХЦ на 46,7 % выше прочности базового состава и на 12,0 % выше прочности закладочного состава ЦЩЦ М 30 в этом же возрасте.

К возрасту 180 суток, так же как и у закладочной смеси АХЦ, у данной закладочной смеси рост прочности прекращается, хотя видимого нарушения сплошности образцов не отмечается. Прочность образцов закладочной смеси ХЦ в этом возрасте соответствует прочности базового состава.

Как видно из рисунка 1, динамика набора прочности закладочной смеси ХЦ во все сроки твердения до 90 суточного возраста соответствует динамике набора прочности базового состава ПЦ М 20 в эти же сроки твердения. К возрасту 180 суток отмечается сепарация динамики набора прочности данной закладочной смеси по сравнению с аналогичной для ее базового состава.

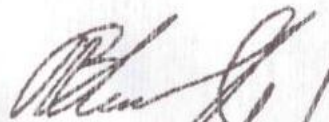
## Выводы комиссии:

1. Прочность опытной закладочной смеси АХЦ в возрасте 3, 7, 28 и 90 суток существенно (на 66,7 %, 33,3 %, 53,3 % и 40,0 % соответственно) превышает прочность базового состава ЦКЦ М 30, расход цемента у которого составляет так же, как и у опытной смеси,  $170 \text{ кг/м}^3$ . В возрасте 180 суток превышение прочности данной закладочной смеси составляет 16,7 %.

2. Прочность опытной закладочной смеси ХЦ в возрасте 3, 7, 28 и 90 суток существенно (на 166,7 %, 80,0 %, 53,3 % и 46,7 % соответственно) превышает прочность закладочного состава ЦЦ М 20, расход цемента у которого составляет так же, как и у опытной смеси,  $170 \text{ кг/м}^3$ . В ранние сроки твердения (3, 7 и 28 суток) прочность этой смеси соответствует прочности закладочного состава ЦКЦ М 30 в эти же сроки твердения. В возрасте 90 суток прочность закладочной смеси на 12,0 % меньше прочности закладочного состава ЦКЦ М 30 в этом же возрасте. В возрасте 180 суток прочность закладочной смеси ХЦ соответствует прочности базового состава.

3. Динамика набора прочности у закладочных смесей АХЦ и ХЦ до возраста 90 суток выше динамики набора прочности их базовых составов. К возрасту 180 суток у образцов закладочных смесей происходит снижение динамики набора прочности по сравнению с аналогичной для их базовых составов.

Председатель комиссии



В.П. Марысюк

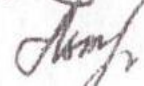
Члены комиссии



Ю.Н. Наговицын



П.С. Гузанов



А.З. Лытнева



## НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ  
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЗАПОЛЯРНЫЙ ФИЛИАЛ

ЦЕНТР ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Центра геодинамической  
безопасности ЗФ ОАО «ГМК  
«Норильский никель»

А.Г. Анохин

*Анохин* 2013 г.

### АКТ

21 июня 2013 г.

№ ЗФ-89/47 -акт

испытаний керна закладочных смесей  
АХЦ и ХЦ с шахты «Комсомольская»

Основание: Пункт 9.3. плана работ ЦГБ на 2013 год, утвержденного 28.12.2012 и.о. заместителя Директора ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» по минерально-сырьевому комплексу.

Составлен комиссией:

Председатель: Главный инженер Центра геодинамической безопасности Марысюк В.П.

- Члены комиссии:
1. Начальник отдела совершенствования технологии горных работ Наговицин Ю.Н.
  2. Начальник отдела управления горным давлением Сергунин М.П.
  3. Главный специалист отдела Гузанов П.С.
  4. Инженер по горным работам 2 категории. Лытнева А.Э.

В настоящее время на шахте «Комсомольская» рудника «Комсомольский» проходят опытно-промышленные испытания (далее – ОПИ) закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ в диапазоне М10-М100 с применением хвостов обогащения ТОФ. Научное сопровождение ОПИ выполняет ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» согласно договору от 11.09.2011 № 30422.

Целью ОПИ является подтверждение характеристик новых рецептур закладочных смесей на соответствие требованиям РТПП-045-2004.

В настоящем акте представлены результаты лабораторных испытаний керна скважин, выбуренного 15 апреля 2013 года из закладочного массива, сформированного опытными закладочными смесями АХЦ и ХЦ в ленте 109 панели 5 в возрасте 180 суток.

Керн скважин был предоставлен в ЦГБ с шахты «Комсомольская» 19.06.2013.

Результаты испытания керна скважин на прочность приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Прочности закладочных смесей, определенные по керну скважин

№ скв.	№ образца по интерв. отбора керна	Интерв. отбора керна, м	Диаметр, d, мм	Площадь, S, мм <sup>2</sup>	Нагрузка, P, кН	Прочность, σ, МПа	Средняя прочность, σ, МПа	Прочность базового состава в возрасте 120 суток, σ, МПа
2	1	0 - 2,0	36,0	1017,4	6,10	6,0	4,4	2,8-3,0 (для ШХЦ М 30)
	2		36,0	1017,4	2,38	2,3		
	3		36,0	1017,4	5,04	5,0		
	4		35,0	961,6	0,60	0,6	0,65	
	5		33,0	854,9	0,62	0,7		
3	1	0 - 2,0	36,0	1017,4	2,07	2,0	2,1	
	2		36,0	1017,4	2,11	2,1		
	3		36,0	1017,4	2,38	2,3		
	4		36,0	1017,4	2,44	2,4		
	5		36,0	1017,4	2,00	2,0		
			36,0	1017,4	2,07	2,0		
4	1	0 - 2,0	36,0	1074,7	3,21	3,2	3,5	
	2		35,0	961,6	2,88	3,0		
	3		36,0	1074,7	4,79	4,7		
	4		36,0	1017,4	4,10	4,0		
	5		37,0	1074,7	2,37	2,2		
	6		36,0	1017,4	4,12	4,0		
	7		35,0	961,6	1,45	1,5	1,5	
5	1	0 - 2,0	37,0	1074,7	1,39	1,3	1,3	1,8-2,2 (для ПЦ М 20)
	2		37,0	1074,7	1,58	1,5		
	3		37,0	1074,7	1,09	1,0		
	4		36,0	1017,4	4,77	4,7	4,0	
	5		37,0	1074,7	3,42	3,2		
15	1	0 - 2,0	37,0	1074,7	5,15	4,8	4,3	
	2		37,0	1074,7	4,89	4,5		
	3		38,0	1133,5	4,81	4,2		
	4		37,0	1017,4	3,61	3,3		
	5		38,0	1133,5	5,81	5,1		
	6		37,0	1074,7	4,79	4,5		
	7		38,0	1133,5	4,05	3,6		



Визуальный осмотр керна всех скважин при подготовке образцов показал, что материал, которым он образован, имеет в основном однородный тонкий фракционный состав. Видимые включения зерен ангидрита отмечаются очень редко и имеют размер менее 0,5 мм (скважины № 2, 3, 4, и 15). Отличить по имеющемуся материалу в керне ангидритовую и безангидритовую закладки сложно – цвет материала всех слоев закладки по указанным скважинам серый, структура – тонкозернистая. Отличается по цвету (темно-серый) только материал закладочной смеси в скважине № 5.

При подготовке образцов керна отмечено, что нумерация скважин, видимо, проставлена ошибочно, так как для испытания керна в возрасте 180 суток скважины должны иметь нумерацию третьего ряда с № 11 по № 15. Скважина № 15 на этикетке указана как, пробуренная с другого конца ленты.

В составе закладочных смесей, выбуренных из скважин № 2, 4 и 9, керн представлен материалом различного состава, что, как видно из таблицы 1, отражено и значениями прочностей.

Так в скважине № 2 часть образцов керна представлена не закладочным материалом зеленовато-бурого цвета. В скважине № 4 один из образцов керна состоит из основного материала закладочной смеси, представленного в остальных образцах, и материала зеленовато-бурого цвета. Причем контакт между этими материалами резкий угловатый. В скважине № 5 часть образцов имеют темно-серый цвет, а часть серый. Образцы более темного цвета имеют существенно меньшую прочность по сравнению с образцами серого цвета.

По скважинам № 2, 5 и 15 прочности закладочных смесей имеет почти одинаковые значения (4,4 и 4,0 (закладочная смесь серого цвета) и 4,3 МПа соответственно), по скважине № 3 – 2,1 МПа, по скважине № 4 – 3,5 МПа, по скважине № 5 (закладочная смесь темно-серого цвета) – 1,3 МПа. По этим значениям прочностей закладочные смеси, из которых выбурен керн по скважинам № 2, 4, 5 (серый материал) и 15, превышают прочность базового состава ШХЦ М 30 в этом же возрасте соответственно на 46,6, 33,3 и 43,3 %, а по скважине № 4 – на 16,7 %. Закладочная смесь, выбуренная скважиной № 3, соответствует прочности базового состава ПЦ М 20 в этом же возрасте. Закладочная смесь, выбуренная скважиной № 5 (темно-серый материал), имеет прочность на 35,0 % меньше прочности базового состава ПЦ М 20.

По сравнению с прочностью образцов закладочных смесей АХЦ и ХЦ, которыми был образован данный закладочный массив (лента 109 панель 5), испытанных в возрасте 180 суток, прочность образцов керна по скважинам № 2, 4, 5 (закладочная смесь серого цвета) и 15 соответствует прочности образцов закладочной смеси АХЦ (3,5 МПа), а прочность образцов керна по скважинам № 3 и 5 (закладочная смесь темно-серого цвета) более соответствует прочности образцов закладочной смеси ХЦ (2,1 МПа).

#### **Выводы комиссии:**

1. Прочности закладочных смесей в возрасте 180 суток, определенные по керну скважин № 2, 4, 5 (закладочная смесь серого цвета) и 15, соответствует прочности образцов, сформированных из закладочной смеси АХЦ в возрасте 180 суток, слагающей этот же закладочный массив.
2. Прочность закладочных смесей в возрасте 180 суток, определенная по керну скважины № 3 и 5, соответствует прочности образцов, сформированных из закладочной смеси ХЦ в возрасте 180 суток, слагающей этот же закладочный массив.
3. Прочности закладочных смесей, определенных по керну скважин № 2, 4, 5 и 15 в возрасте 180 суток, соответственно на 46,6 %, 33,3 %, 43,3 % и 16,7 % выше прочности базового состава ШХЦ М 30 с таким же расходом цемента в возрасте 180 суток.

4. Прочность закладочной смеси, определенная по керну скважины № 3 5 (закладочная смесь темно-серого цвета) в возрасте 180 суток, соответствует марочной прочности (в возрасте 180 суток) базового состава ПЦ М 20 с таким же расходом цемента. Прочность закладочной смеси, определенная по керну скважины № 5 (закладочная смесь темно-серого цвета), на 35,0 % ниже прочности базового состава ПЦ М 20.

Председатель комиссии



В.П. Марысюк

Члены комиссии



Ю.Н. Няговщина



П.С. Гузанов



А.Э. Лытнева

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное  
 учреждение высшего профессионального образования  
 «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

SIBIRIAN  
 FEDERAL  
 UNIVERSITY



СИБИРСКИЙ  
 ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
 УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе ФГАОУ ВПО

«Сибирский федеральный университет»

доцент М.В. Румянцев

«    »    2015 г.

660041, Россия, Красноярск, проспект Свободный, 79  
 телефон (391) 244-82-13, факс (391) 244-86-25  
 http://www.sfu-kras.ru e-mail: office@sfu-kras.ru

№ \_\_\_\_\_  
 на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

#### АКТ

о внедрении в учебный процесс кафедры «Подземная разработка месторождений»  
 Института горного дела, геологии и геотехнологий ФГАОУ ВПО «Сибирский  
 федеральный университет» результатов диссертационной работы Волкова Евгения  
 Павловича на тему: «Разработка технологии закладки выработанного пространства  
 породными хвостами обогащения»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Е.П.  
 Волкова используются в учебном процессе кафедры «Подземная разработка  
 месторождений» ИГДГТ ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» при чтении  
 курса лекций и проведении практических занятий для студентов специальности 130404.65  
 «Подземная разработка месторождений», направления 130400 - «Горное дело» по  
 дисциплинам:

1. «Процессы подземной разработки рудных месторождений».
2. «Поверхностный и стационарные комплексы».

Директор ИГДГТ,  
 доктор геолого-минералогических наук,  
 профессор, заведующий кафедрой  
 «Геологии месторождений и методики разведки»

В.А. Макаров

Доктор технических наук,  
 профессор, заведующий кафедрой  
 «Подземная разработка месторождений»

А.Н. Анушенков

**НОРНИКЕЛЬ**ЗАПОЛЯРНЫЙ  
ФИЛИАЛ

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер рудника  
«Комсомольский» ЗФ ПАО  
«ГМК «Норильский никель» А.Ю. Рамонов

АКТ


Об использовании результатов исследований, выводов и рекомендаций научно-квалификационной диссертационной работы по разработке технологии закладки камер твердеющими смесями на основе хвостов обогащения

Результаты кандидатской диссертационной работы соискателя Волкова Евгения Павловича на тему «Разработка технологии закладки камер твердеющими смесями на основе хвостов обогащения» приняты к внедрению на руднике «Комсомольский» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

Методика определения экономической эффективности применения составов закладочных смесей представляет определённый интерес и рекомендована при экономической оценке целесообразности применения закладочных смесей различных составов и марок, учитывающая как стоимостные параметры, так и временной фактор, отображающий динамику набора прочности.

Результаты исследований, выводов и рекомендаций в рамках диссертационного исследования Волкова Е.П. по теме «Разработка технологии закладки камер твердеющими смесями на основе хвостов обогащения» представлены и защищены при выполнении научно-исследовательских работ в рамках договора №30422 «Проведение исследований по подбору и составу закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ в диапазоне М10-М100 с применением хвостов обогащения ТОФ» между ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» и ИГДГИГ СФУ, где Волков Евгений Павлович являлся ответственным исполнителем темы.

Заместитель главного инженера  
рудника «Комсомольский»

 О. Г. Норкин