

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

институт

Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов

кафедра

УТВЕРЖДАЮ Заведующий
кафедрой

_____ Шиманский А.Ф.

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование и разработка технологических режимов получения
строительных керамических материалов с использованием отходов алюми-
ние-
вого производства

тема

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направления

22.04.01.03 Перспективные материалы и методы их исследования

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ доцент, канд.техн.наук Р. Г. Еромасов
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ Н. В. Налетов
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ науч. сотр. канд.хим.наук С. А. Козлова
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2017

Продолжение титульного листа МД по теме: Исследование и разработка технологических режимов получения строительных керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства

Консультанты по
разделам:

Литературный обзор
наименование раздела

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Методическая часть
наименование раздела

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Экспериментальная часть
наименование раздела

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Охрана труда
наименование раздела

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Экономическая часть
наименование раздела

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Р. Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

институт

Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов

кафедра

УТВЕРЖДАЮ Заведующий
кафедрой

_____ Шиманский А.Ф.

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации _____
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Студенту Налетову Никите Валерьевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ЦМ 15-06 Направление (специальность) 22.04.01

номер

код

Материаловедение и технологии материалов

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Исследование и разработка технологических режимов получения строительных керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства

Утверждена приказом по университету № 16295 от 22.10.2016

Руководитель ВКР Р. Г. Еромасов, доцент, канд. техн. наук, ИЦМиМ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР патентно-информационный поиск, результаты курсовой научно-исследовательской работы, результаты преддипломной практики.

Перечень разделов ВКР введение, литературный обзор, методическая часть, экспериментальная часть, заключение, список используемых источников

Перечень графического материала презентация к докладу.

Руководитель ВКР

подпись

Р. Г. Еромасов

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Н.В. Налетов

инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная магистерская диссертация по теме «Исследование и разработка технологических режимов получения строительных керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства» содержит 114 страниц текстового документа, 54 использованных источника, 21 рисунок, 30 таблиц.

КЕРАМИЧЕСКАЯ МАССА, ОТХОДЫ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА, КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ, СПЕКАНИЕ, МИНЕРАЛИЗАТОРЫ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, КАЖУЩАЯСЯ ПЛОТНОСТЬ.

Объектом исследования является керамический кирпич.

Цель работы – Исследование и разработка технологических режимов получения строительных керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства.

Сырьевая база действующих керамических производств Красноярского края ограничена запасами месторождений сырья для керамической отрасли промышленности. В настоящее время в связи с сокращением запасов природного сырья актуальной задачей становится использование промышленных отходов, которые представляют собой сырье.

Работа направлена на разработку составов керамических масс для производства керамических стеновых материалов и поиск оптимальных технологических параметров их получения с использованием отходов алюминиевого производства. В работе установлено что использование данных отходов позволит повысить физико-механические характеристики готовой продукции, в частности получать керамический кирпич на основе суглинка Кубековского месторождения с прочностью 30 МПа.

Практическая значимость работы состоит в замене дефицитного сырья на отходы алюминиевого производства, оказывающие серьезную угрозу здоровью и жизни населению и природным ресурсам.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	11
1.1 Характеристика традиционных сырьевых материалов	11
1.1.1 Традиционное сырье для производства строительных керамических материалов.....	11
1.1.2 Технология изготовления строительных керамических материалов. ..	13
1.3 Получение отходов алюминиевого производства	18
1.3.1 Технология электролиза алюминия.....	18
1.3.2 Формирование отходов, объемы образования.....	21
1.4 Пути утилизации отходов алюминиевого производства	24
1.4.1 Расчет динамики патентования	34
1.4.2 Расчет динамики патентования методом наименьших квадратов.....	35
2 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	39
2.1 Получение керамических материалов.....	39
2.1.1 Подготовка и исследование исходных сырьевых материалов.....	39
2.1.2 Формование керамической массы	39
2.1.3 Сушка и высокотемпературный обжиг	40
2.1.4 Методика приготовления шлифов.....	41
2.2 Определение физико-механических свойств керамических материалов...	42
2.2.1 Характеристики керамического кирпича.....	42
2.2.2 Внешний вид.....	43
2.2.3 Физико-механические показатели	44
2.3 Методы испытаний	44

2.3.1	Определение усадки	45
2.3.2	Определение плотности	46
2.3.3	Определение водопоглощения	46
2.3.4	Определение морозостойкости.....	47
2.4	Планирование эксперимента	48
2.4.1	Факторы	49
2.4.2	Полный факторный эксперимент	50
2.4.3	Свойства полного факторного эксперимента типа 2^k	51
2.4.4	Полный факторный эксперимент и математическая модель	52
3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	56
3.1	Характеристика исходных сырьевых материалов	56
3.1.1	Характеристика глинистого сырья.....	56
3.1.2	Характеристика смешанных отходов шламового поля.....	58
3.1.3	Характеристика отработанной угольной футеровки алюминиевого электролизера	60
3.1.4	Характеристика отработанной шамотной футеровки алюминиевого электролизера	62
3.2	Разработка состава керамических масс с использованием отходов алюминиевого производства	64
3.3	Оптимизация технологических параметров получения керамического кирпича с использованием смешанных отходов шламового поля.....	72
3.2.1	Выбор параметров оптимизации и факторов воздействия	72
4	ОХРАНА ТРУДА	85
4.1	Анализ условий проведения эксперимента в отношении возможных опасных и вредных факторов	85

4.2 Физико – химическая и токсикологическая характеристика применяемых и образующихся веществ и материалов.....	86
4.3 Характеристика помещения для проведения работ	88
4.3.1 Микроклимат	88
4.3.2. Освещение	89
4.4 Противопожарная характеристика помещения и меры безопасности	92
4.5 Электробезопасность.....	93
4.6 Мероприятия по защите от выявленных опасностей	94
4.7 Охрана окружающей среды	95
5 Экономическая часть	98
5.1 Смета затрат на выполнение работы.....	98
5.1.1 Материальные расходы.....	98
5.1.2 Расходы на оплату труда.....	100
5.1.3 Отчисление на социальные нужды.....	101
5.1.4 Суммы начисленной амортизации	101
5.1.5 Прочие расходы.....	103
5.2 Оценка экономической эффективности результатов работы	103
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	108

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день кирпич является одним из основных строительных материалов в России. Сфера применения кирпича широка – он используется при закладке фундамента, возведении несущих стен и межкомнатных перегородок, для облицовки зданий и внутренней отделки.

Наибольшая доля кирпича потребляется на строительство жилых домов, она составляет 67 % объема внутреннего кирпичного рынка.

Производство керамических строительных материалов связано со значительным расходом природных ресурсов. В настоящее время в связи с сокращением запасов природного сырья актуальной задачей становится использование промышленных отходов, которые представляют собой сырье, не требующее дополнительной обработки.

При обжиге керамических изделий основной задачей является обеспечение формирования фазового состава и структуры керамического черепка, определяющие прочностные характеристики и усадку. Наиболее полное протекание физико-химических процессов достигается при достаточно широком интервале спекания. Для расширения и интенсификации процесса спекания используют соответствующие компоненты масс, плавни и эффективные добавки.

Большим резервом эффективных добавок в керамических массах являются отходы промышленности, содержащие ценные минерализующие компоненты. Перспективным является использование отходов алюминиевого производства для получения керамических строительных материалов.

Отходы алюминиевого производства составляют более 20% от всех техногенных продуктов, образующихся при производстве алюминия в России. В процессе электролитического производства алюминия образуются различные отходы производства, которые утилизируются, подлежат длительному хранению или уничтожению. Хвосты флотации угольной пены, шламы газоочистки, пыль электрофильтров, смывные воды зумпфов и шламы глиноземного произ-

водства подвергаются различным операциям очистки и транспортируются на шламовые поля.

Отходы демонтажа алюминиевого электролизера, а именно отработанная шамотная и угольная футеровки, складированы за пределами завода в черте города на открытых площадках.

Целью данной научно-исследовательской работы является:

Исследование и разработка технологических режимов получения строительных керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проведение патентно-информационного поиска
- Анализ химического, минералогического и гранулометрического состава отходов
- Разработка и оптимизация состава керамической шихты
- Разработка и оптимизация технологических режимов производства.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Характеристика традиционных сырьевых материалов

1.1.1 Традиционное сырье для производства строительных керамических материалов

Сырьевую массу для изготовления керамических изделий обычно составляют из пластичных материалов (глины, каолины) и непластичных материалов (отошающих и выгорающих добавок/плавней). Глины и каолины объединяют общим названием – глинистые материалы. В производстве некоторых искусственных обжиговых материалов используют диатомиты, трепелы, а также шлаки, золы, сланцы в чистом виде или с добавкой глин, порообразующих и других добавок [15].

Глинистые материалы и их керамические свойства. Глины представляют собой осадочные горные породы тонкоземлистого строения, которые независимо от их минерального и химического состава способны при смешивании с водой образовывать пластичное тесто, переходящее после обжига в водостойкое и прочное камневидное тело. Образовавшись в результате выветривания главным образом полевошпатовых пород, глины состоят из плотной смеси различных глинистых минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты со слоистой кристаллической структурой. Наиболее распространенными из них являются каолинитовые (каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ и галлуазит $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), монтмориллонитовые (монтмориллонит $(\text{Na},\text{Ca})_{0,33}(\text{Al},\text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, бейделлит $(\text{Na},\text{Ca})_{0,3}\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и гидрослюдистые (в основном продукты разной степени гидратации слюд) [15].

Наряду с глинообразующими минералами в глинах встречаются: кварцы, полевой шпат, серный колчедан, гидроксиды железа, карбонаты кальция и магния, соединения титана, ванадия, органические примеси. Перечисленные примеси влияют как на технологию керамических изделий, так и на их свойства.

Например, тонко распределенный углекислый кальций и оксиды железа понижают огнеупорность глин. Если в глине имеются крупные зерна углекислого кальция, то при обжиге из них образуются включения извести, которые гидратируют с увеличением объема («дутики»), что вызывает образование трещин или разрушение изделий [23].

Наиболее чистые глины, состоящие преимущественно из каолинита, называют каолинами; после обжига они сохраняют белый цвет.

Для придания необходимых свойств как глинам, так и изделиям из них в глину вводят различные добавки.

Отощающие материалы добавляют к пластичным глинам для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях. Для этих целей используют дегидратированную глину, шамот, шлаки и золы, а также некоторые природные материалы (кварцевый песок, пылевидный кварц). Дегидратированную глину получают нагреванием глины обычно до 600...700°C (при этой температуре она теряет свойство пластичности). Шамот изготавливают обжигом огнеупорных или тугоплавких глин при 1000... 1400 °C с последующим их помолом (зерна 0,16...2 мм) [23].

Порообразующие материалы вводят в сырьевую массу для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью. Для этого используют вещества, которые при обжиге диссоциируют (мел, молотый доломит и др.) с выделением газа, например СО₂, или выгорают (древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль и др.). Такие добавки одновременно являются и отощающими [10].

Плавни, добавляют в глину в тех случаях, когда необходимо понизить температуру ее спекания (полевые шпаты, железная руда, доломит, магnezит, тальк и др.). Для получения некоторых видов цветной керамики в сырьевую массу добавляют оксиды металлов (железа, кобальта, хрома и др.) [11].

В Красноярском Крае разведано и разработано значительное количество месторождений высококачественных глин, суглинков для производства керамического кирпича. Наиболее используемыми являются суглинки Садовго, Ба-

далыкского, Кубековского, Шарыповского и Пузыревского месторождений. В настоящее время широко используются высококачественные, каолинито-гидрослюдистые, каолинито-монтморилонитовые глины Большемуртинского района (Контатское месторождение), Уярского района (Компановское месторождение). Запасы данных месторождений в значительной степени истощены.

Основой для производства строительной керамики являются суглинки. Высококачественные глины используются как пластифицирующие добавки при производстве стеновых строительных материалов, в керамические массы на основе суглинков [34].

Для повышения качества и улучшения физико-механических свойств производимой продукции, требуется корректировка свойств с использованием специальных добавок.

Для производства лицевого керамического кирпича, в суглинок необходимы добавки улучшающие сушильные свойства производимой продукции, а также выгорающие добавки, минерализаторы, и добавки ускоряющие процесс спекания [10].

В данный момент в качестве специальных добавок перспективно использовать отходы производства.

1.1.2 Технология изготовления строительных керамических материалов.

Для получения качественной продукции основополагающим является выбор рациональной технологической схемы производства, зависящая от исходного сырья.

Основные технологические операции при производстве керамических строительных материалов включают:

- подготовка сырья
- дозировка

- перемешивание
- формование
- сушка
- обжиг

Несмотря на обширный ассортимент керамических изделий, разнообразие их форм, физико-механических свойств и видов сырьевого материала, основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: добычи сырьевых материалов, подготовки сырьевой массы, формования изделий (сырца), сушки сырца, обжига изделий, обработки изделий (обрезки, глазурирования и пр.) и упаковки.

Добычу сырья осуществляют на карьерах открытым способом – экскаваторами. Транспортировку сырья от карьера к заводу производят автосамосвалами, вагонетками или транспортерами при небольшой удаленности карьера от цеха формовки. Заводы по производству керамических материалов, как правило, строят вблизи месторождения глины, и карьер является составной частью завода.

Подготовка сырьевых материалов состоит из разрушения природной структуры глины, удаления или измельчения крупных включений, смешения глины с добавками и увлажнения до получения удобноформуемой глиняной массы.

Формование керамической массы в зависимости от свойств исходного сырья и вида изготавливаемой продукции осуществляют полусухим, пластическим и шликерным (мокрым) способами. При полусухом способе производства глину вначале дробят и подсушивают, затем измельчают и с влажностью 8-12% подают на формование. При пластическом способе формования глину дробят, затем направляют в глиносмеситель, где она перемешивается с отошающими добавками до получения однородной пластичной массы влажностью 20-25%. Формование керамических изделий при пластическом способе осуществляют преимущественно на ленточных прессах. При полусухом способе глиняную

массу формируют на гидравлических или механических прессах под давлением до 15 МПа и более. По шликерному способу исходные материалы измельчают и смешивают с большим количеством воды (до 60%) до получения однородной массы – шликера. В зависимости от способа формования шликер используют как непосредственно для изделий, получаемых способом литья, так и после его сушки в распылительных сушилках [15].

Современный период развития производства строительной керамики характеризуется интенсификацией технологических процессов, комплексной механизацией, конвейеризацией и автоматизацией производства. В этой связи важную роль отводят разработке новой технологии получения пресс-порошка в распылительных сушилках, сущность которой заключается в совмещении процессов обезвоживания, дробления и сепарации. Сушильная камера представляет собой металлический цилиндр, заканчивающийся внизу конусом, который служит для сбора готового продукта. Отличительными особенностями сушила являются распыление керамической суспензии пучком форсунок при давлении 1,0-1,2 МПа и снижение давления газа внутри сушильной башни. Обезвоживание керамических масс в распылительных сушилках позволило в 3,5 раза повысить производительность труда и в 1,5 раза сократить капитальные затраты [14].

Обязательной промежуточной операцией технологического процесса производства керамических изделий по пластическому способу является сушка. Если же сырец, имеющий высокую влажность, сразу после формования подвергнуть обжигу, то он растрескивается. При сушке сырца искусственным способом в качестве теплоносителя используют дымовые газы обжигательных печей, а также специальных топок. При изготовлении изделий тонкой керамики применяют горячий воздух, образуемый в калориферах. Искусственную сушку производят в камерных сушилках периодического действия или туннельных сушилках непрерывного действия [14].

Процесс сушки представляет собой комплекс явлений, связанных с тепло- и массообменом между материалом и окружающей средой. В результате проис-

ходит перемещение влаги из внутренней части изделий на поверхность и испарение ее. Одновременно с удалением влаги частицы материала сближаются и происходит усадка. Уменьшение объема глиняных изделий при сушке происходит до определенного предела, несмотря на то, что вода к этому моменту полностью еще не испарилась. Для получения высококачественных керамических изделий процессы сушки и обжига должны осуществляться в строгих режимах. При нагревании изделия в интервале температур 0-150°C из него удаляется гигроскопическая влага. При температуре 70°C давление водяных паров внутри изделия может достигнуть значительной величины, поэтому для предупреждения трещин температуру следует поднимать медленно (50-80 °C/ч), чтобы скорость порообразования внутри материала не опережала фильтрации паров через ее толщу.

Обжиг является завершающей стадией технологического процесса. В печь сырец поступает с влажностью 8-12%, и в начальный период происходит его досушивание. В интервале температур 550-800°C идет дегидратация глинистых минералов и удаление химически связанной конституционной воды. При этом разрушается кристаллическая решетка минерала и глина теряет пластичность, в это время происходит усадка изделий.

При температуре 200-800°C выделяется летучая часть органических примесей глины и выгорающих примесей глины и выгорающих добавок, введенных в состав шихты при формовании изделий, и, кроме того, окисляются органические примеси в пределах температуры их воспламенения. Этот период характерен весьма высокой скоростью подъема температур – 300-350 °C/ч, а для эффективных изделий – 400-450 °C/ч, что способствует быстрому выгоранию топлива, запрессованного в сырец. Затем изделия выдерживают при этой температуре в окислительной атмосфере до полного выгорания остатков углерода.

Дальнейший подъем температуры от 800°C до максимальной связан с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительным структурным изменением черепка, поэтому скорость подъема температуры за-

медляют до 100-150°С/ч, а для пустотелых изделий – до 200-220°С/ч. По достижении максимальной температуры обжига изделие выдерживают для выравнивания температуры по всей толщине его, после чего температуру снижают на 100-150°С, в результате изделие претерпевает усадку и пластические деформации.

Затем интенсивность охлаждения при температуре ниже 800°С увеличивается до 250-300 °С/ч и более. Ограничением спада температуры могут служить лишь условия внешнего теплообмена. При таких условиях обжиг кирпича можно осуществить за 6-8 ч. Однако в обычных туннельных печах скоростные режимы обжига не могут быть реализованы из-за большой неравномерности температурного поля по сечению обжигательного канала. Изделия из легкоплавких глин обжигают при температуре 900-1100°С. В результате обжига изделие приобретает камневидное состояние, высокие водостойкость, прочность, морозостойкость и другие ценные строительные качества [32].

В Красноярском крае большую часть строительной керамики производят на заводах реализующих пластический способ формования. В Красноярске работают два завода по производству рядового полнотелого кирпича: АО «Сибпропромстрой», ООО «Первый кирпичный завод». А также два завода по производству лицевого кирпича: ООО «Сибирский элемент», ООО «СТОУН».

Ближайший к Красноярску завод реализующий способ полусухого прессования находится в городе Шарыпово – ООО «Шарыповский кирпичный завод».

Такая распространенность пластического формования на заводах Красноярского края обусловлена тем, что полученный в результате продукт обладает высоким качеством и улучшенными техническими характеристиками, которые позволяют шире применять его в строительстве, в отличие от кирпича, изготовленного методом полусухого прессования.

Как говорилось выше, для достижения высоких характеристик готовой строительной керамики вводят различные корректирующие добавки. Метод пластического прессования позволяет использовать в качестве добавок различ-

ные производственные отходы, частным случаем которых являются отходы алюминиевого производства [19].

1.3 Получение отходов алюминиевого производства

1.3.1 Технология электролиза алюминия

Алюминий получают путем электролиза глинозема, растворенного в расплавленном электролите, основным компонентом которого является криолит. В чистом криолите $\text{Na}_3\text{AlF}_6(3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3)$ отношение $\text{NaF} : \text{AlF}_3$ равно 3, для экономии электроэнергии необходимо при электролизе иметь это отношение в пределах 2,6–2,8, поэтому к криолиту добавляют фтористый алюминий AlF_3 .

Кроме того, для снижения температуры плавления в электролит добавляют немного CaF_2 , MgF_2 и иногда NaCl . Содержание основных компонентов в промышленном электролите находится в следующих пределах, %: Na_3AlF_6 – 75–90; AlF_3 – 5–12; MgF_2 – 2–5; CaF_2 – 2–4; Al_2O_3 – 2–10. При повышении содержания Al_2O_3 более 10% резко повышается тугоплавкость электролита, при содержании менее 1,3% нарушается нормальный режим электролиза.

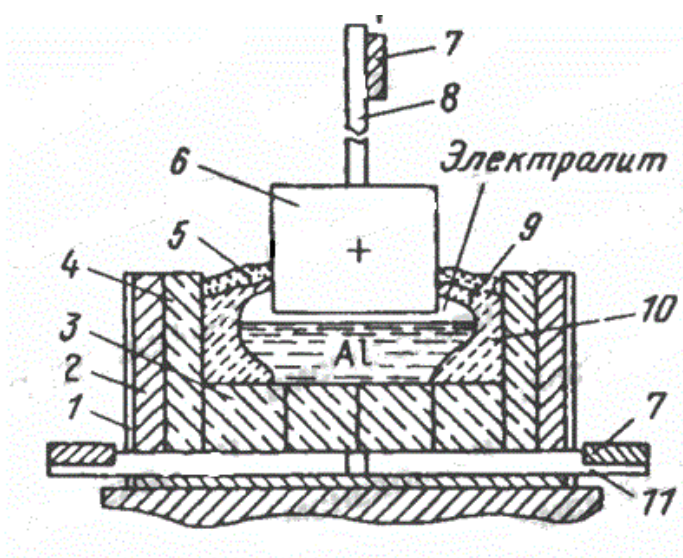


Рисунок 1.1 – Схема электролизной ванны для получения алюминия: 1 – кожух; 2 – шамот; 3 – угольный блок; 4 – угольная плита; 5 – глинозем; 6 – анод; 7 – токоподводящая шина; 8 – подвеска (токоподвод); 9 – корка затвер-

девшего электролита; 10 – гарнисаж (затвердевший электролит); 11 – токоподвод

Электролизная ванна или электролизер, где проводят электролиз с целью получения алюминия, имеет в плане прямоугольную форму. Схема поперечного разреза ванны показана на рисунке 1.1. Кожух 1 из стальных листов охватывает стены ванны, а у больших ванн выполнен с днищем. Внутри имеется слой шамота 2 и далее стены выложены угольными плитами 4, а под образован подовыми угольными блоками 3. Ванна глубиной 0,5-0,6 м заполнена электролитом и находящимся под ним слоем жидкого алюминия.

Угольный анод 6 (иногда их несколько) подвешен на стальных стержнях 8 так, что его нижний конец погружен в электролит, через стержни 8 к аноду подается ток от шин 7.

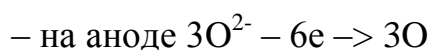
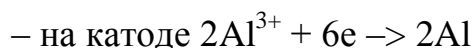
Мощность электролизера (ванны), определяемая силой подводимого к ней тока, изменяется от 30 кА у ванн малой мощности до 250 кА у ванн большой мощности. Поскольку допустимая удельная плотность проходящего через анод тока составляет 0,65-1,0 А/см², при росте мощности ванн увеличивают площадь анода; размеры поперечного сечения анода мощных ванн достигают 2,8х9 м, размеры ванны (внутри) – 3,8х10 м.

Электролизные ванны размещают в цехе в ряд по несколько десятков ванн в ряду. Электролиз ведут при напряжении 4-4,3 В и, как отмечалось, при удельной плотности тока, проходящего через анод, равной 0,65-1,0 А/см². Толщина слоя электролита в ванне составляет 150-250 мм. Температуру ванны поддерживают в пределах 950-970 °С за счет тепла, выделяющегося при прохождении постоянного тока через электролит. Такие температуры имеют место под анодом, а на границе с воздухом образуется корка затвердевшего электролита, а у стен ванны – затвердевший слой электролита 10 (гарнисаж).

Необходимая температура ванны, т.е. выделение в слое электролита необходимого количества тепла, обеспечивается при определенном электросопротивлении слоя электролита. Такого электросопротивления достигают, поддерживая в заданных пределах состав электролита и толщину его токопрово-

дящего слоя, т.е. электросопротивления слоя электролита, вызывает увеличение выделения тепла при прохождении тока и, соответственно, перегрев электролита.

При приложении напряжения к катоду и аноду составляющие жидкого электролита подвергаются электролитической диссоциации, и расплав состоит из многочисленных катионов и анионов. Состав электролита подобран так, что в соответствии со значениями потенциалов разряда на электродах могут разряжаться только катионы Al^{3+} и анионы O^{2-} , образующиеся при диссоциации Al_2O_3 в электролите. Соответственно электрохимический процесс на электродах описывается следующими уравнениями:



Разряжающийся на катоде алюминий накапливается на подине ванны под слоем электролита. Выделяющийся на аноде кислород взаимодействует с углеродом анода с образованием газов CO и CO_2 , т.е. при этом окисляется низ анода, в связи с чем анод периодически опускают. Газы CO и CO_2 выходят из – под анодов вдоль их боковых поверхностей, они содержат выделяющиеся из электролита токсичные фтористые соединения и глиноземную пыль. Эти газы улавливают и очищают от пыли и фтористых соединений.

По ходу процесса в ванны периодически загружают глинозем; контролируют состав электролита, вводя корректирующие добавки; с помощью регуляторов поддерживают оптимальное расстояние между анодами и жидким алюминием (в пределах 40–50 мм). Глинозем загружают в ванны сверху, пробивая для этого корку спекшегося электролита с помощью передвигающихся вдоль ванн машин.

Жидкий алюминий извлекают из ванн один раз в сутки или через 2-3 суток с помощью вакуум-ковшей. Вакуум-ковш, вмещающий 1,5-5 т алюминия.

Футерованную шамотом емкость, в которой создается разрежение ~ 70 кПа. Соединенную с патрубком ковша, заборную трубку погружают сверху в

слой жидкого алюминия в ванне и за счет разрежения алюминий, засасывается в ковш.

Выделяющиеся анодные газы вначале направляют в горелки, где сжигают CO и возгоны смолы, а затем в газоочистку, где улавливают пыль и фтористые соединения [2].

Производительность современных электролизных ванн составляет 500-1200 кг алюминия в сутки. Баланс сырья и энергии при получении 1 т алюминия представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Баланс сырья и энергии при получении 1 т алюминия

1.3.2 Формирование отходов, объемы образования

В процессе электролиза алюминия формируются следующие отходы:

- Хвосты флотации угольной пены
- Шламы газоочистки
- Пыль элетрофильтров

- Смывные воды зумпфов
- Смешанные отходы шламового поля
- Отработанная шамотная футеровка электролизеров
- Отработанная угольная футеровка электролизеров

Объемы образования годовых отходов алюминиевого производства в процентном соотношении представлены на рисунке 1.3 [39].

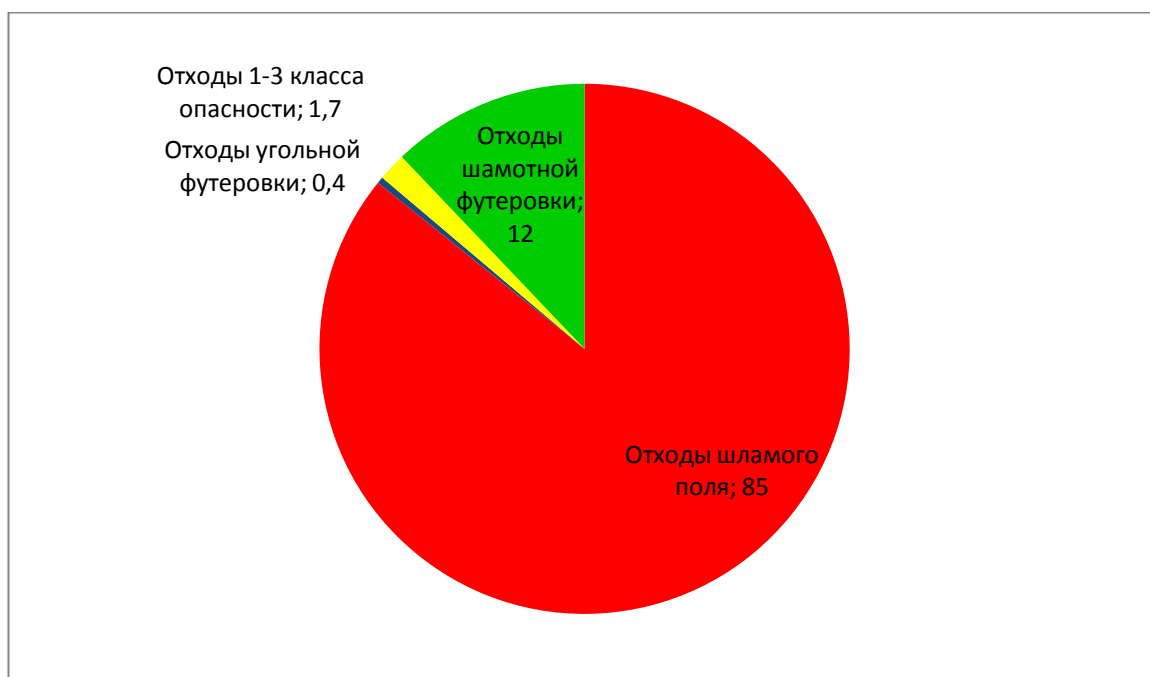


Рисунок 1.3 - Образование отходов.

Химический состав отходов приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав алюминиевого производства, масс.%

Наименование отходов	Содержание компонентов							Потери при прокаливании	
	SiO ₂			CaO	MgO				
Хвосты флотации угольной пены	0,13	6,20	0,06	-	-	12,44	0,10	12,44	68,93
Шламы газоочистки	0,24	18,54	3,70	0,79	0,32	23,02	3,13	26,01	24,25

Окончание таблицы 1.1

Пыль электрофильтров	0,46	18,40	2,51	0,16	0,75	15,04	1,00	17,09	44,59
Смывные воды зумпфов	2,49	18,56	4,75	0,08	0,80	23,30	1,11	30,14	18,77
Смешанные отходы шламового поля	0,68	12,53	1,13	0,73	0,60	15,89	0,64	16,38	51,42
Отработанная угольная футеровка	22,40	15,01	2,05	2,60	2,58	До 15	0,23	До 15	2,09
Отработанная шамотная футеровка электролизеров	65,64	20,86	2,78	0,90	0,86	4,21	0,23	2,53	

В процессе электролитического производства алюминия образуются различные отходы производства, которые утилизируются, подлежат длительному хранению или уничтожению.

Хвосты флотации угольной пены, шламы газоочистки, пыль электрофильтров, смывные воды зумпфов и шламы глиноземного производства подвергаются различным операциям очистки и транспортируются на шламовые поля.

Отходы демонтажа алюминиевого электролизера, а именно отработанная шамотная и угольная футеровки, складированы за пределами завода в черте города на открытых площадках.

Это приводит к выщелачиванию отходов атмосферными осадками и загрязнению близлежащих водоемов, загрязнению окружающей среды фторидами и другими вредными веществами и соединениями [41].

1.4 Пути утилизации отходов алюминиевого производства

Для установления эффективных путей утилизации был проведен патентный поиск, в результате которого были установлены следующие пути утилизации отходов алюминиевого производства:

- Регенерация отхода;
- Использование в производстве цемента;
- В качестве топливной добавки;
- Использование при производстве керамических строительных материалов.

Авторы изобретения предлагают [24]. При регенерации отходов основной задачей является получение вторичного сырья из шламов для производства алюминия. Системы газоочистки подвергают сначала магнитной сепарации при напряженности поля не менее 1000 В, после чего осуществляют высокотемпературный окислительный обжиг с введением модифицирующей добавки и последующей десульфуризацией возвратного продукта водой.

Изобретение позволило снизить потери фтора и содержание примесных соединений железа и серы в возвратном продукте при переработке отходов производства первичного алюминия, но и повысить технико-экономические показатели процесса обжига, так как он осуществляется при более низких температурах 500-600 °С.

В рассмотренном патенте [25] для производства цемента, используется мелкодисперсные натрий-фтор-углеродсодержащие отходы электролитического производства алюминия.

Смешение проводят при подаче указанных отходов в смесь для получения портландцементного клинкера в количестве 0,10-0,25 % вес. в пересчете на фтор и при весовом соотношении натрия к фтору не более 0,8. Затем проводят термообработку полученной смеси. Технический результат заключается в очистке шламовых полей алюминиевых заводов от мелкодисперсных натрий-фтор-углеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия,

расширении сырьевой базы фторсодержащих минерализаторов шихты для получения портландцементного клинкера.

Авторы данного исследования [26] использовали отходы алюминиевого производства в качестве топливной добавки, фтор-углеродсодержащие отходы электролитического производства алюминия, содержащие хвосты флотации угольной пены и отходы газоочистки, смешивание их и получения брикетов, которые можно использовать в качестве топливной добавки. Известен способ переработки угольной футеровки на криолит. Реализация этого способа приводит к повышению выхода фтора в криолит до 90% (потери фтора с маточником снижаются до 11,8%). В способе переработки угольной футеровки электролизёров на криолит, заключающимся в её выщелачивании каустическим раствором, обескремнивании, сгущением с получением шлама и раствора, карбонизацию ведут до соотношения бикарбоната натрия к карбонату натрия в растворе равного 0,05-0,16. На карбонизацию подают раствор с содержанием карбонатной щелочи 15-20г/л.

Отработанная футеровка классифицируется, как опасные отходы. Хотя существует ряд способов регенерации полезных составляющих, в некоторых случаях ценность отработанной футеровки и экономика этих способов в целом считаются сомнительными. Так, известны технология переработки отработанной угольной футеровки алюминиевых электролизеров, которая в заметном количестве содержит ядовитый цианид натрия, заключающиеся в ее размол и переработке с добавкой реагента - соли железа, в качестве последнего используют двухвалентное соединение, которое вводят в процесс размол в количестве 0,05-0,25 молей на каждый моль свободного цианида, при этом реагент вводят в виде 5-35% раствора, размол ведут в две стадии с влажностями 15-30% и 2-6% соответственно и на размол добавляют 3-12% извести. Данная технология обеспечивает исключение токсичных и коррозионно-активных реагентов и совмещение передела обезвреживания с другими операциями переработки футеровки, однако характеризуется необходимостью осуществления многочисленных и дорогостоящих операций. Поэтому, как правило, на большинстве алю-

миниерных производств техногенный материал отправляется в отвалы. В то же время, предотвращение выщелачивания неблагоприятных для окружающей среды веществ из отработанной футеровки требует дорогостоящих, тщательно сооруженных и обслуживаемых могильников.

Использование отработанной угольной футеровки идет в различных направлениях. Так, перспективным считается рециклинг отработанной футеровки в анодную массу. При замене части кокса-наполнителя на отработанную футеровку в анодной массе коэффициент текучести последней возрастает, что связано с уменьшением количества открытых пор, в которые проникает связующее – каменноугольный пек. Определено влияние добавки отработанной футеровки в анодную массу на такие важные физические свойства обожженных анодов, как плотность, пористость, механическая прочность на сжатие и удельное электросопротивление. Показано, что добавка до 5-10% отработанной футеровки практически не влияет на физические свойства обожженных образцов.

Другим направлением утилизации отхода является его использование в производстве глинозема [28]. Способ предназначен для переработки отработанной угольной футеровки, содержащей в основном углерод, пропитанный фтористыми соединениями алюминия и натрия. Угольную футеровку вводят в измельченном виде в качестве компонента в количестве 3-18 масс. % в глиноземсодуизвестняксодержащую шихту (пульпу) глиноземного производства. При этом известняк дозируют в шихту на образование $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, CaF_2 , $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Щелочь дозируют в шихту из условия обеспечения молекулярного соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 0,9-1,1$. Шихту спекают. Полученный спек подвергают гидрохимической обработке по известным способам глиноземного производства для извлечения оксидов алюминия и щелочных металлов в виде глинозема, соды, поташа. Оставшийся после гидрохимической обработки твердый остаток - шлам в зависимости от состава направляют на производство цемента, силикатного кирпича, дорожное строительство.

Способ переработки отработанной угольной футеровки алюминиевых электролизеров [29] заключается в том, что угольную футеровку, извлеченную

из электролизеров, подлежащих капитальному ремонту, измельчают до размера кусков < 2-3 мм и прокаливают при 300-500°C и доступе кислорода или воздуха в трубчатой печи или печи кипящего слоя в течение около 1 часа.

Если из футеровки необходимо извлечь содержащиеся в ней фториды, то к материалу до его прокаливания добавляют до 20% NaOH или Na₂CO₃ в твердом виде или в виде раствора. После описанной обработки содержание цианидов в футеровке снижается с 0,1-0,36% до 0,015%. Недостатком этого способа является то, что результатом переработки угольной футеровки является только выжигание углерода, разложение цианидов и перевод фторидов в водорастворимую форму.

Способ переработки отработанной углеродистой футеровки алюминиевых электролизеров [27] который включает измельчение углеродистой футеровки до частиц размером 1-2 см. В полученную массу добавляют 1-20% порошкообразной футеровки с размером частиц 0,6-5 мкм, а также 1-10% инертного вещества (например, оксида кремния) с размером частиц около 10 мкм. Термическую обработку – окисление проводят при температуре 750-1200 °C. Добавка инертного вещества предотвращает спекание массы, способствует более полному окислению и разложению цианидов до N₂, CO₂ и оксидов азота. В дальнейшем окисленная масса перерабатывается традиционными способами для извлечения ценных компонентов. Недостатком данного способа является то, что для его осуществления необходимо сооружение довольно громоздкого и дорогостоящего отдельного производства; при проведении термической обработки при температурах около 1000 °C происходит разложение и улетучивание фтористых соединений в формах HF, SiF₄ и др., что усугубляет экологическое состояние окружающей среды. Практическим результатом этого способа является только окисление (выжигание) углерода и разложение (нейтрализация) цианидов.

Одним из перспективных направлений утилизации угольной футеровки является вариант ее использования в технологии керамического кирпича с це-

лью повышения морозостойкости, улучшения физико-механических характеристик и их теплофизических свойств.

Так, известна сырьевая смесь и способ изготовления керамических лицевых изделий, заключающийся в том, что сырьевая смесь для изготовления стеновых керамических изделий содержит в качестве сырьевых компонентов микрокремнезем, золу-унос от сжигания бурых углей, просыпь от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров и моющее средство "Тайга" при следующем соотношении компонентов (в масс.%):

- зола-унос 48,50 – 53,28;
- микрокремнезем 26,12 – 28,70;
- просыпь от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров 4,10 – 11,20;
- моющее средство «Тайга» 0,81 – 2,24.

Просыпь от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров является крупнотоннажным отходом производства алюминия, образующимся при капитальном ремонте электролизеров. Насыпная плотность отхода до 750 кг/м³, преобладающий размер частиц – до 1 мм.

Химический состав просыпи от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров (масс.%):

- C – 53,31;
- Na – 11,76;
- K – 2,52;
- Al – 5,93;
- Ca – 0,15;
- F – 11,97;
- Mg – 0,18;
- Fe₂O₃ – 0,36;
- SiO₂ – 1,07;
- Al₂O₃ – 17,04;
- CaF₂ – 0,05.

Использование отхода алюминиевого производства в керамических строительных материалах является перспективным так как решаются задачи утилизации отхода и получение керамических изделий с повышенными физико-механическими свойствами. Все найденные и описанные выше данные по патентному поиску, были записаны в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты патентного поиска.

Класс	Номер	Дата	Цель	Вид отхода	Технические параметры	Состав масс. %	Потребительские свойства
C04B38/08	2531417	27.08.2013	Снижение средней плотности и теплопроводности, повышение прочности керамических изделий и снижение затрат на обжиг.	Угольные шламы	Степень измельчения менее 1 мм, температура обжига 950–1050 °С, продолжительность 2 часа, охлаждение 14 часов,	легкоплавкая глина – 60–75; карбонатно-кремнистая цеолит-содержащая порода – 20–25; флотационные отходы углеобогащения – 5–15.	$\sigma = 30,4$ МПа, средняя плотность полнотелых изделий 1,45, пористость 42 %, коэффициент теплопроводности 0,43
C04B35/14	2523526	04.12.2012	Повышение морозостойкости керамического кирпича.	Пыль газоочистки производства ферросплавов, закарбонизованный суглинок, минеральный шлам газоочистки рекультивируемого шламонакопителя производства алюминия	Температура сушки 100–110 °С, температура обжига 950 °С,	Пыль газоочистки 63,6–68,6; закарбонизованный суглинок 27,3–29,4; минеральный шлам газоочистки рекультивируемого шламонакопителя производства алюминия 2,0–9,1.	Прочность при сжатии 18 МПа, Средняя плотность 1330 кг/м ³ , Водопоглощение 27,3 мас. %, Коэффициент размягчения 0,90, Морозостойкость 75 циклов.

Продолжение таблица 1.2.

Класс	Номер	Дата	Цель	Вид Отхода	Технические параметры	Состав масс. %	Потребительские свойства
C22B1/243	2497958	26.04.2012	Переработка вторичных углеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия.	Шлам газоочистки, пыль газоочистки, хвосты флотации	Термообработка брикетов при температуре 300 °С. влажностью не более 10 %,	Шлам газоочистки 25, пыль газоочистки 5, хвосты флотации 25.	Прочность т/обработанных брикетов 85 %, прочность сырых брикетов 25 %
C04B7/42	2393241	24.02.2009	Переработка мелкодисперсных натрий-фтор-углеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия.	Пыль электрофильтров сухой газоочистки, шлам газоочистки после мокрой стадии пылегазоулавливания, хвосты флотации угольной пены.	Температура спекания 550–800 °С, соединение F в смеси 0,25 % вес.	Мелкодисперсные натрий-фтор-углеродсодержащие отходы электролитического производства алюминия – 30–90 %, фторид кальция – остальное.	Вес. соотношение Na: F в отх. 0,6, Степень высолообразования ($K_{в/о}$) 779.

Продолжение таблица 1.2.

Класс	Номер	Дата	Цель	Вид отхода	Технические параметры	Состав масс. %	Потребительские свойства
C04B35/14	2167125	2001	Повышение морозостойкости обжиговых изделий до 75 циклов	Отработанная угольная футеровка.	1.Микрокремнезем -80-70. 2.Просыпь от боя отработанной угольной футеровки 20-30.	Влажность -до 16%. Температура обжига -900°C.	Размер частиц(более 90%) – до 1,25мм. Насыпная плотность просыпи от боя угольной футеровки 760кг/м ³
C04B38/00	2393241	2004	Улучшение теплозащитных характеристик изделий и снижение их материалоемкости.	Отработанная угольная футеровка.	1.Микрокремнезем 24,5-32. 2.Высококальциевая зола-унос 60-65. 3.Просыпь от боя отработанной угольной футеровки электролизеров 5-7 4.Сульфатное мыло 3-3,5..	Температура сушки - 60-80°C до постоянной массы. Температура обжига- 1000°C	Средняя плотность- 1120-1460кг/м ³ . Прочность при сжатии после обжига-11,4-21,3МПа. Теплопроводность - 0,468 0,648Вт/(м°К). ККК×10 ⁻² - 1,02- 1,54МПа/(кг/м ³).

Окончание таблицы 1.2.

Класс	Номер	Дата	Цель	Вид отхода	Технические параметры	Состав масс. %	Потребительские свойства
C04B35/16, C04B38/06	2263087	2005	Снижение средней плотности и материалоемкости изделий.	Отработанная угольная футеровка.	1. Зола-унос 50,0-53,3. 2. Микрокремнезем 8,81-9,37. 3. Аллюминиевая пудра 0,06-0,072. 4. Угольная футеровка 3,12-8,60. 5. Карбоксиметилцеллюлоза натрия 0,02-0,31. 6. Вода 33,8-35,07.	Температура сушки- 100°C до постоянной массы. Температура обжига- 800°C.	Средняя плотность- 900-1500кг/м ³ . Теплопроводность в сухом состоянии- 0,353-0,670Вт/(м °С).
C04B35/14	2399599	2010	Повышение прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества.	Отработанная угольная футеровка.	1. Микрокремнезем 84,2-84,8. 2. Просыпь от боя отработанной угольной футеровки электролизеров 14,8-15,0. 3. Кислоты жирные талловые омыленные (КЖТО) 0,2-1,0.	Влажность- до 23-23,8%. Давление прессования- 20 МПа. Температура сушки- 100-110°C до постоянной массы. Температура обжига- 850-900°C.	Средняя плотность- 1,075-1,2г/см ³ . Прочность при сжатии- 8,2 14,6МПа. Водопоглощение 19,1-26,9%. ККК×10 ⁻² - 0,76-0,22МПа/(кг/м ³)

1.4.1 Расчет динамики патентования

Алгоритм проведения патентного поиска



Рисунок 1.4 – Алгоритм поиска рефератов изобретения

Задачей для проведения дальнейших расчетных работ является повышение прочности при сжатии и морозостойкость.

Данные для расчета динамики патентования приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Значения технико-экономических показателей во времени

Наименования показателя и единицы измерения	Значения технико-экономического показателя			
	Года			
	2008	2012	2012	2013
Прочность при сжатии, МПа	17,8	22,5	18	30,4
Морозостойкость, цикл	52	114	75	

Расчет динамики патентования проводится двумя методами:

- методом наименьших квадратов;
- методом гистограмм.

1.4.2 Расчет динамики патентования методом наименьших квадратов

(1.1)

где P_i – значения исследуемого показателя на момент времени t_i ;

P_0 – значения исследуемого показателя на исходный момент времени (номер года), равное $t_i = 1$, определяемое по формуле:

(1.2)

где K – коэффициент изменения показателя P во времени.

Производная функция определяется по формуле:

(1.3)

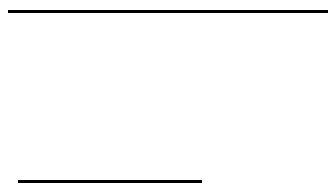
где t_i – номер года, рассчитываемый по разности лет от исходного года, для которого $t_i = 1$;

n – число анализируемых объектов – аналогов.

Таблица 1.4 – Значения, связанные с показателем прочности при сжатии

t_i	1	4	4	6	15
P_i	17,8	22,5	18	30,4	88,7
$P_i \cdot t_i$	17,8	90	72	182,4	362,2

t_i^2	1	16	16	36	69
---------	---	----	----	----	----



Строим зависимость показателя прочности от номера года в виде прямой

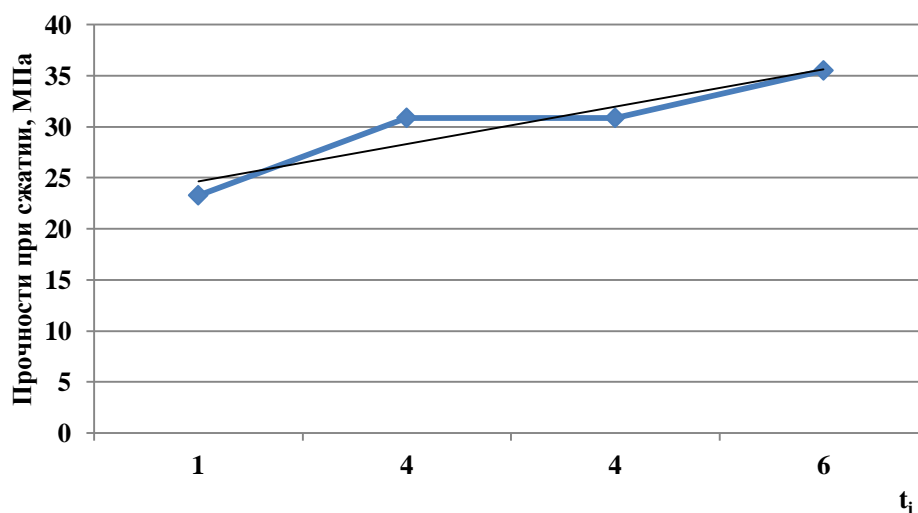


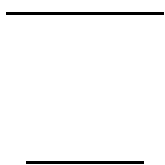
Рисунок 1.4 – Изменение прочности при сжатии во времени

Аналогично проводим расчеты по второму потребительскому свойству морозостойкость.

В таблице 1.5 представлены данные для расчетов изменения морозостойкости.

Таблица 1.5 – Значения, связанные с показателем морозостойкость

t_i	1	4	4	9
N_i	52	114	75	241
$N_i \cdot t_i$	52	456	300	808
t_i^2	1	16	16	33



Строим зависимость показателя морозостойкости от номера года в виде прямой

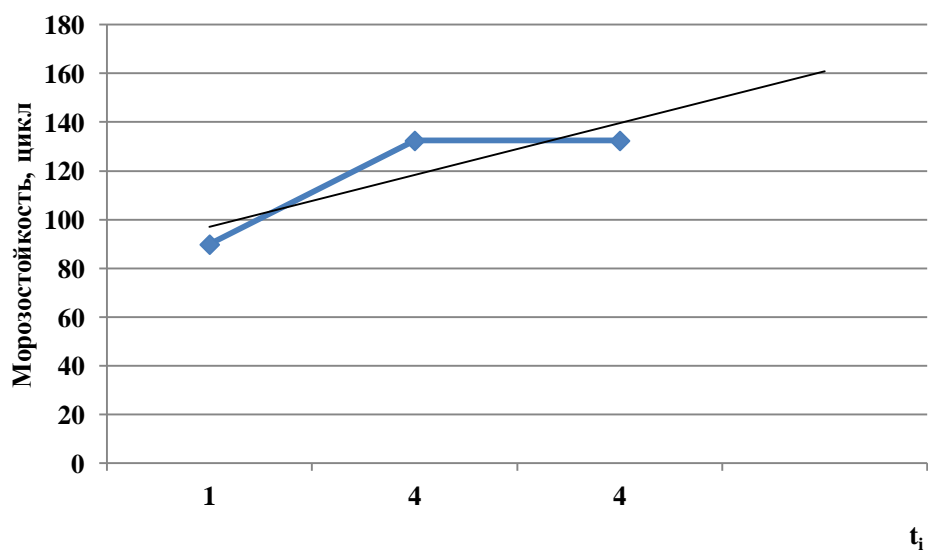


Рисунок 1.5 – Изменение морозостойкости во времени

Из проведенного патенто-информационного поиска можно сделать вывод, что существует заинтересованность в исследовании влияния отходов алюминиевого производства на физико-механические свойства керамических

строительных материалов и в поиске эффективных методов утилизации данного отхода. Из расчета динамики патентования по рисункам 1.4 и 1.5 наблюдается увеличение потребительских свойств (прочность при сжатии и морозостойкость). Что свидетельствует о перспективности использования отхода в качестве топливной и минерализующей добавки для производства керамических изделий.

Выводы по главе:

1. Анализ литературы позволил установить что в производстве стеновых керамических материалов существует проблема истощения высококачественного глинистого сырья. Необходим поиск альтернативных сырьевых источников.

2. Наряду с этим ежегодно образуется значительное количество отходов алюминиевого производств, в частности на Красноярском алюминиевом заводе ежегодно образуется 31 тыс. тонн отходов шламового поля, 20 тыс. тонн отходов отработанной шамотной футеровки, 43 тыс. тонн отработанной угольной футеровки. Следовательно необходимо решить проблему утилизации и переработки этих отходов.

3. Проведенный патентно-информационный поиск позволил установить принципиальную возможность использования отходов алюминиевого производства в технологии строительных керамических материалов.

4. Из расчета динамики патентования наблюдается увеличение потребительских свойств (прочность при сжатии и морозостойкость), что свидетельствует о перспективности использования отхода в качестве топливной и минерализующей добавки для производства керамических материалов.

2 МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Получение керамических материалов

Процесс изготовления лабораторных образцов керамических материалов, включает следующие операции:

- подготовка и исследование исходных сырьевых материалов;
- формование керамической массы;
- сушка керамических образцов;
- высокотемпературный обжиг;
- определение физико-механических свойств обожженных образцов.

2.1.1 Подготовка и исследование исходных сырьевых материалов

В качестве исходных сырьевых материалов использовали: глину Кубековского месторождения; глину Контатского месторождения и в качестве добавок отходы алюминиевого производства. Исходные сырьевые материалы первоначально измельчали в щековой дробилке ЩД 6 до крупности менее 1 мм.

Для получения керамической массы определенного вещественного состава подготовленные компоненты шихты взвешивали на лабораторных весах VIBRA AJH-220 SE в определенном процентном соотношении. Затем сырьевую смесь увлажняли до относительной влажности 21 масс.% и перемешивали в химической посуде. Глиняное тесто для усреднения состава и влажности вылеживалось в течение 2 суток.

2.1.2 Формование керамической массы

Формование керамической массы осуществляли методом пластического формования в пресс-форме, давление 0,7–0,9 МПа, с получением экспериментальных образцов в форме цилиндров диаметром и высотой 5 см.

2.1.3 Сушка и высокотемпературный обжиг

Сушку образцов проводили естественным образом до остаточной относительной влажности не более 5 масс. %.

Обжиг образцов осуществлялся в муфельной печи SNOL 30/1300, по режимам, предусматривающим максимальную температуру обжига 900–1000 °С, со скоростью нагрева 5 град/мин. После охлаждения образцов в печи исследовали их физико-механические свойства.

После завершения процесса образцы остывали в печи до комнатной температуры. Ниже представлены режимы обжига, при изотермической выдержки 2 часа (рисунок 2.1) и 4 часа (рисунок 2.2) [32].

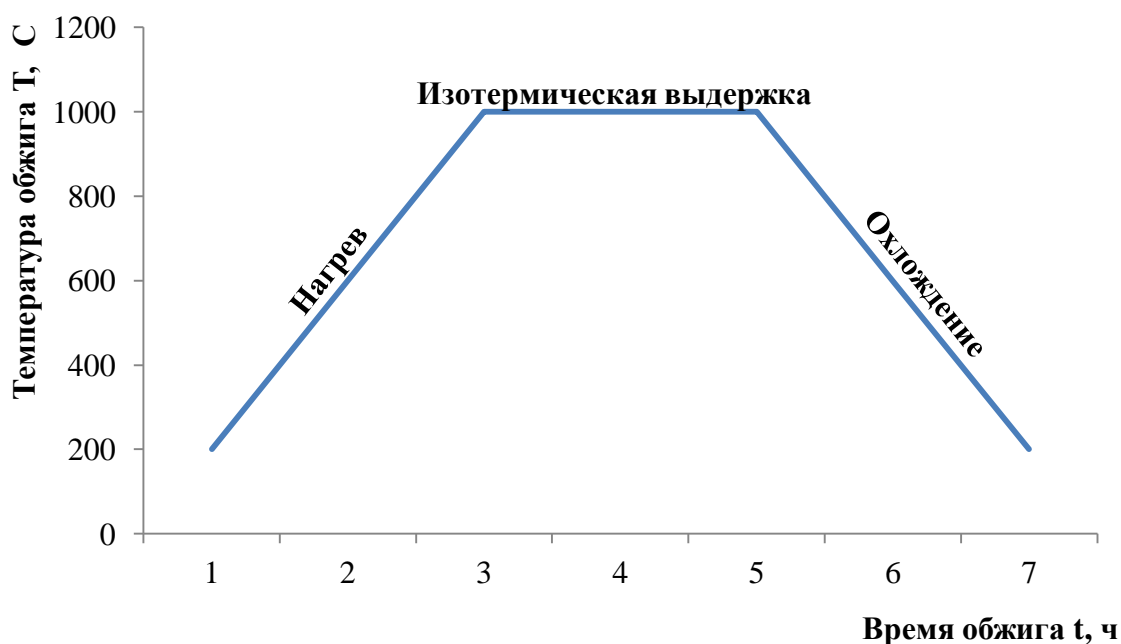


Рисунок 2.1 – Режим высокотемпературного обжига, при изотермической выдержки 2 часа

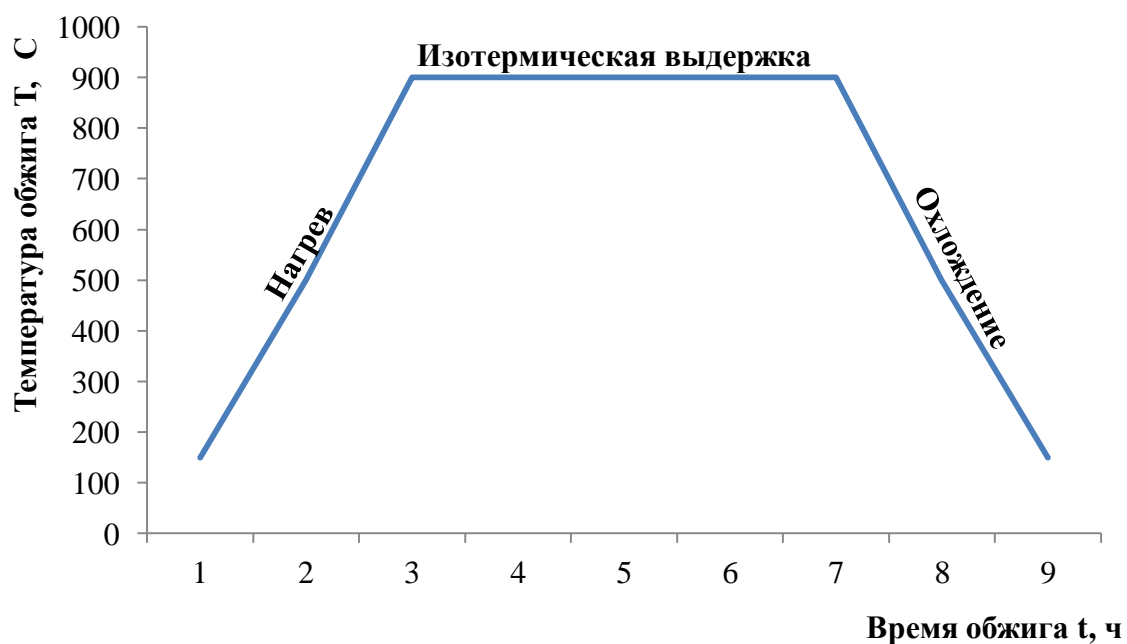


Рисунок 2.2 – Режим высокотемпературного обжига, при изотермической выдержке 4 часа

2.1.4 Методика приготовления шлифов

Метод изготовления шлифов зависит от целей, для которых они делаются. Стандартные шлифы массово изготавливаются в специальных лабораториях. Сейчас для этого применяется специальное оборудование, которое позволяет в значительной степени автоматизировать процесс.

Изготовление шлифов состоит из следующих основных операций:

- подготовка образца: изготовление из него пластины подходящего размера.
- шлифовка одной стороны образца, к которой будет приклеено стекло. Обычно её шлифуют на не сильно мелком порошке, так как слабая шероховатость сглаживается бальзамом и не мешает изучению.
- подготовка стекла. Стекло должно быть совершенно ровное, сторона, на которую будет клеиться шлиф, должна быть пришлифована на крупном порошке до придания ей матового блеска. Это нужно для того, чтобы шлиф не отклеивался.

– приклеивание образца к стеклу. При этом важно избежать захвата пузырьков воздуха.

– шлифовка образца до толщины, близкой к стандартной.

– доводка шлифа до стандартной и одинаковой по всей площади толщины. Толщина шлифа контролируется на петрографическом микроскопе. Это самая трудоёмкая работа, требующая опыта и лёгкой руки.

2.2 Определение физико-механических свойств керамических материалов

Исследование физико-механических и др. свойств полученных материалов проводили с учетом ГОСТа 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» [8].

2.2.1 Характеристики керамического кирпича

Кирпич: Керамическое штучное изделие, предназначенное для устройства кладок на строительных растворах. Кирпич нормального формата (одинарный) это изделие в форме прямоугольного параллелепипеда номинальными размерами 250x120x65 мм. Кирпичи разделяют на:

- кирпич полнотелый;
- кирпич пустотелый;
- фасонный кирпич;
- кирпич клинкерный;
- кирпич лицевой;
- кирпич рядовой.

Кирпич полнотелый представляет собой изделие, в котором отсутствуют пустоты или с пустотностью не более 13 %. Кирпич пустотелый это изделие, имеющее пустоты различной формы и размеров. Фасонный кирпич имеет форму, отличающуюся от формы прямоугольного параллелепипеда. Кирпич клин-

керный это изделие, имеющее высокую прочность и низкое водопоглощение, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки в сильно агрессивной среде и выполняющее функции декоративного материала. Кирпич лицевой представляет собой изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки и выполняющее функции декоративного материала. Кирпич рядовой обеспечивает эксплуатационные характеристики кладки [8].

Кирпичи должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта и по технологическому регламенту, утвержденному предприятием-изготовителем.

2.2.2 Внешний вид

Лицевые изделия должны иметь не менее двух лицевых граней – ложковую и тычковую. Цвет и вид лицевой грани устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем и оговариваются в документе на поставку. Рядовые изделия изготавливаются с гладкими или рельефными вертикальными гранями. Лицевые кирпич и камень по виду лицевой поверхности изготавливаются с:

- гладкой и рельефной поверхностями;
- поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазированием, двухслойным формованием или иным способом [8].

Изделия могут быть естественного цвета или объемно окрашенными

На лицевых изделиях допускаются единичные вспучивающиеся (например, известковые) включения глубиной не более 3 мм, общей площадью не более 0,2% площади лицевых граней.

На рядовых изделиях допускаются вспучивающиеся включения общей площадью не более 1,0 % площади вертикальных граней изделия. На лицевых и клинкерных изделиях не допускаются высолы [8].

2.2.3 Физико-механические показатели

Физико-механические показатели кирпича должны соответствовать показателям, указанным в таблице 2.1 [8].

Таблица 2.1 – Физико-механические показатели кирпича

Наименование показателя	Значение
Водопоглощение, %	
Облицовочный кирпич	
не менее	6
не более	12
Рядовой кирпич	
не менее	6
не более	–
Морозостойкость, циклы, не менее	50
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²), не менее	15 (150)

2.3 Методы испытаний

Определение физико-механических характеристик, определяют с помощью ГОСТа 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости» [9].

Размеры изделий, толщину наружных стенок, диаметр цилиндрических пустот, размеры квадратных и ширину щелевидных пустот, длину посечек, длину отбитостей ребер, радиус закругления смежных граней и глубину фаски на ребрах измеряют металлической линейкой по ГОСТ 427 или штангенциркулем по ГОСТ 166. Погрешность измерения – ±1 мм.

Длину, ширину и толщину каждого изделия измеряют по краям (на расстоянии 15 мм от угла) и в середине ребер противоположных граней. За результат измерения принимают среднеарифметическое значение трех измерений [9].

2.3.1 Определение усадки

Воздушная линейная усадка определяют по изменениям линейных размеров образцов в результате сушки по формуле:

$$\text{---} \quad (2.1)$$

где – расстояние между метками на отформованных образцах, мм;
– расстояние между метками на образцах после сушки, мм [33].

Воздушная усадка определяется по формуле:

$$\text{---} \quad (2.2)$$

где – объем образца после формования, ;
– объем образца после сушки, .

Общую и огневую линейные усадки определяют по изменениям линейных размеров образцов после обжига по формуле:

$$\text{---} \quad (2.3)$$

где – расстояние между метками на свежеформованных образцах, мм;
– расстояние между метками образцов после обжига, мм [33].

(2.4)

Общая и огневая объемные усадки определяют по изменяемым размерам обожженных образцов.

$$\text{---}, \quad (2.5)$$

где V_1 – объем образцов после формования, V_2 ;
 V_3 – объем образцов после обжига, [33];

(2.6)

2.3.2 Определение плотности

Чтобы определить кажущуюся плотность полученных проб необходимо знать их объем и массу. Тогда по формуле найдем кажущуюся плотность каждого образца:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.7)$$

где m – масса образцов, г;
 V – объем образцов, см^3 [9].

2.3.3 Определение водопоглощения

Образцы высушивают до постоянной массы при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, охлаждают и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. ГОСТом допускается не высушивать образцы, взятые непосредственно после обжига. Образцы помещают в емкость для кипячения на металлическую сетку или проволочную подставку так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Затем наливают воду, уровень которой должен быть выше образцов не менее чем на 50 мм. Воду доводят до кипения и выдерживают образцы в кипящей воде в течение 2 часов. В процессе кипячения воду доливают, чтобы ее уровень был выше образцов.

Затем образцы оставляют в той же воде на 4 ч для охлаждения. После насыщения образцов водой их извлекают из воды, протирают влажной мягкой тканью или губкой для удаления с поверхности капель влаги и взвешивают. Результаты взвешивания округляют до 0,1 г [9].

Водопоглощение определяют по формуле:

$$\frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (2.8)$$

где m_1 – масса образца, насыщенного водой, г;

m – масса высушенного образца, г.

Результат вычисления округляют до 0,1 %.

2.3.4 Определение морозостойкости

Для определения морозостойкости по степени повреждения используют целые неповрежденные кирпичи.

Образцы насыщают водой таким же способом, что и при определении водопоглощения.

Насыщенные образцы помещают в контейнер так, чтобы они не соприкасались. При размещении образцов в несколько рядов по высоте отдельные ряды разделяют прокладками высотой не менее 20 мм [9].

Общий объем контейнера с образцами не должен превышать 50 % объема морозильной камеры. Образцы замораживают не менее 2 ч при температуре в морозильной камере от -20 °С до -15 °С. Одно замораживание и оттаивание составляет один цикл испытаний. В случае временного прекращения испытаний образцы после оттаивания должны храниться в воздушной среде.

Образцы осматривают через каждые 5 циклов, если требуемое количество циклов менее 35, и через каждые 10 циклов, если большее количество циклов.

Выявление поврежденных образцов (разрушение, образование трещин, расслоение и т.п.) проводят после их оттаивания.

Образцы считают морозостойкими, если после требуемого числа циклов не было обнаружено их повреждение. Если повреждение образцов наступило раньше, указывают то количество циклов, при котором было обнаружено повреждение [9].

2.4 Планирование эксперимента

Это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

При планировании эксперимента не безразлично, какими свойствами обладает объект исследования. Укажем два основных требования, с которыми приходится считаться. Прежде всего, существенно ли воспроизводятся на объекте результаты эксперимента. Выберем некоторые уровни для всех факторов и в этих случаях проведем эксперимент. Затем повторим его несколько раз через равные промежутки времени и сравним значения параметра оптимизации. Разброс этих значений характеризует воспроизводимость результатов. Если он не превышает некоторой заранее заданной величины, то объект удовлетворяет требованиям воспроизводимости результатов, а если превышает, то не удовлетворяет этому требованию.

Планирование эксперимента предполагает активное вмешательство в процесс и возможность выбора в каждом опыте тех уровней факторов, которые представляют интерес. Поэтому такой эксперимент называется активным. Объект, на котором возможен активный эксперимент, называется управляемым. Это и есть второе требование к объекту исследования [17].

2.4.1 Факторы

Фактором называется измеряемая переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. Фактор считается заданным, если вместе с его названием указана область его применения. Под областью определения понимается совокупность всех значений, которые в принципе может принимать данный фактор.

При планировании эксперимента факторы должны быть управляемыми. Это значит, что экспериментатор, выбрав нужное значение фактора, может его поддерживать постоянным в течение всего опыта. В этом состоит особенность "активного эксперимента". Планировать эксперимент можно только в том случае, если уровни факторов подчиняются воле экспериментатора [17].

Требования к факторам: управляемость и однозначность. Управлять фактором – значит установить нужное значение и поддерживать его постоянным в течение опыта или менять по заданной программе.

Факторы должны непосредственно воздействовать на объект исследования. Они должны быть однозначными, т.е. не являться функцией других факторов [17].

При планировании эксперимента обычно изменяется несколько факторов. Поэтому очень важно сформулировать требования, которые предъявляются к совокупности факторов. Прежде всего, требования совместимости. Совместимость факторов означает, что все их комбинации осуществимы и безопасны.

При планировании эксперимента важна независимость факторов, т.е. возможность установления фактора на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов. Если это условие невыполнимо, то невозможно планировать эксперимент. Второе требование – отсутствие корреляции между факторами. Достаточно, чтобы связь не была линейной.

Требования к совокупности факторов: совместимость и отсутствие линейной корреляции. Выбранное множество факторов должно быть достаточно полным. Если какой – либо существенный фактор пропущен, то это приведет к

неправильному определению оптимальных условий или большой ошибке опыта. Факторы могут быть количественными и качественными.

Точность фиксации факторов должна быть высока. Степень точности определяется диапазоном изменения факторов [17].

2.4.2 Полный факторный эксперимент

Первый этап планирования эксперимента для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях. В этом случае, если число факторов известно, можно сразу найти число опытов, необходимое для реализации всех возможных сочетаний уровней факторов. Простая формула, которая для этого используется [17]:

$$N = 2^k, \tag{2.9}$$

где N – число опытов;

2 – число уровней;

k – число факторов.

В общем случае эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом. Если число уровней каждого фактора равно двум, то имеем полный факторный эксперимент типа 2^k [17].

В планировании эксперимента используются кодированные значения факторов: $+1$ и -1 . Условия эксперимента можно записать в виде таблицы, где строки соответствуют различным факторам. Такие таблицы называются матрицами планирования эксперимента.

Матрица планирования эксперимента с четырьмя факторами представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Матрица планирования эксперимента 2^3

Номер опыта	X_1	X_2	X_3	Y
1	+1	+1	+1	Y_1
2	-1	+1	+1	Y_2
3	+1	-1	+1	Y_3
4	-1	-1	+1	Y_4
5	+1	+1	-1	Y_5
6	-1	+1	-1	Y_6
7	+1	-1	-1	Y_7
8	-1	-1	-1	Y_8

Каждый столбец в матрице планирования называется вектор – столбцом, а каждая строка называется вектор – строкой [17].

2.4.3 Свойства полного факторного эксперимента типа 2^k

Матрицы полного факторного эксперимента обладают свойствами симметричности, нормировки, ортогональности и ротатабельности. Два свойства следуют непосредственно из построения матрицы. Первое – симметричность относительно эксперимента – формируется следующим образом: алгебраическая сумма элементов вектор – столбца каждого фактора равна нулю, или:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} = 0 \quad (2.10)$$

где $i=1$;

j – номер фактора, $j = 1, 2 \dots k$;

N – число опытов [14, с. 65].

Втрое свойство – так называемое условие нормировки – формулируется следующим образом: сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу опытов, или:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji}^2 = N \quad (2.11)$$

Это следствие того, что значения факторов в матрице задаются +1 и -1.

Третье свойство относится к совокупности столбцов. Сумма почленных произведений любых двух вектор – столбцов матрицы равна нулю, или:

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot X_{ui} = 0, \quad (2.12)$$

где $j \neq u, u = 0, 1, 2, \dots,$

Это свойство называется ортогональностью матрицы планирования.

Последнее, четвертое, свойство называется ротатабельностью. Оно означает, что все точки в матрице планирования подбираются так, чтобы точность предсказания значений параметра оптимизации была одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависела от направления [17].

2.4.4 Полный факторный эксперимент и математическая модель

Цель – найти по результатам эксперимента значения неизвестных коэффициентов модели. Их можно вычислить по простой формуле [17]:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} \cdot Y_u}{N}, \quad (2.13)$$

где $i = 0, 1, \dots, k,$

Для подсчета коэффициента b_1 используется вектор – столбец X_1 , а для b_2 – столбец X_2 . Теперь найдем b_0 . Если уравнение $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$ справедливо, т.е. b_0 среднее арифметическое значение параметра оптимизации. Чтобы его

получить необходимо, сложить все Y и разделить на число опытов. Коэффициенты независимых переменных указывают на силу влияния факторов. Чем больше величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. Если коэффициент имеет знак плюс, т.е. с увеличением значения фактора параметр оптимизации увеличивается, а если минус уменьшается. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

Область проведения эксперимента выбирается в два этапа.

Основной уровень – многомерная точка в факторном пространстве, задаваемая комбинацией уровней факторов. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно основного уровня при установлении основного уровня приходится рассматривать различные ситуации. Ситуации задаются информацией о наилучших точках и определяют решения [17].

Следующий этап – выбор интервала варьирования факторов. Для каждого фактора определяются два уровня, на которых он варьируется в эксперименте. Уровни факторов изображаются двумя точками на координатной оси, симметрично относительно основного уровня. Один из уровней – верхний, другой – нижний. Интервалом варьирования факторов называется некоторое число свое для каждого фактора, прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание нижний уровень. Для упрощения записи оси задают так, чтобы верхний уровень соответствовал $+1$, нижний -1 , основной 0 . В задачах интерполяции интервал варьирования охватывает всю описываемую область.

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней, называется полным факторным экспериментом. Полный факторный эксперимент типа 2^k обладает свойствами симметричности, нормировки, ортогональности, ротабельности. Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов. Эффект фактора численно равен удвоенному коэффициенту. В тех случаях, когда эффект одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор, говорят о наличии эффекта

взаимодействия двух факторов. Для его количественной оценки получают столбец произведений этих факторов и обращаются с ними как с вектор – столбцом любого фактора [17].

Проверка гипотезы адекватности линейной модели проводят с помощью критерия Фишера – F. Критерий Фишера определяется по формуле:

$$F^{\text{расч}} = S_{\text{ад}}^2 / S_{\{y\}}^2 \quad (2.14)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – остаточная дисперсия, рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u^{\text{расч}} - y_u)^2}{f_{\text{ад}}} \quad (2.15)$$

Уравнение адекватно описывает эксперимент, если расчетное значение F – критерия не превышает табличного для выбранного уровня значимости: $F^{\text{расч}} < F_{\alpha; f_{\text{ад}}; f_y}$.

Число степеней свободы дисперсии адекватности

$$f_{\text{ад}} = N - L, \quad (2.16)$$

где N – число опытов в плане эксперимента,

L – число значимых коэффициентов.

Выводы по главе:

1. В работе принята методика получения экспериментальных образцов пластическим формованием, последующей сушкой и обжигом, по режимам реализуемым на заводе ООО "Сибирский элемент".

2. Принята методика определения физико-механических свойств керамических образцов согласно с ГОСТом 7025–91.

3. Оптимизацию технологических параметров производства керамических материалов с использованием отходов алюминиевого производства осуществили с использованием математического планирования путем реализации полного факторного эксперимента.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Характеристика исходных сырьевых материалов

3.1.1 Характеристика глинистого сырья

Исследование проводили на керамической массе, используемой для производства керамического облицовочного кирпича на заводе ООО «Сибирский элемент». Состав керамической массы: суглинок кубековский – 85 масс.%; глина кантатская – 15 масс.%.

Кантатское месторождение огнеупорных и тугоплавких глин расположено в 4–х км к северу от д. Большой Кантат, в 134 км к северу от г.Красноярска, вблизи тракта Красноярск-Енисейск. Ближайшая пристань на р. Енисее Юкеево, с которой месторождение связано автомобильной дорогой, находится в 30 км к юго-востоку от месторождения.

Месторождение приурочено к отложениям сымской свиты. Полезная толща представлена огнеупорными и тугоплавкими глинами, образующими пластообразную залежь, пологопадающую на север под углами 3-5 градусов. Мощность залежи глин изменяется от 3-5 м до 8-10 м. Редко среди глин встречаются линзы мелкозернистого кварц-полевошпатового песка мощностью от 0,1 до 1,0 м. Сверху залежь глин перекрывается песчано-гравийно-галечниковыми отложениями неогена и бурыми суглинками и глинами четвертичного возраста. Мощность вскрышных пород колеблется от первых метров до 10-20м и в среднем составляет 10,23 м.

Тугоплавкие глины слагают обычно нижнюю часть полезной толщи. Мощность их изменяется от 0,4-7,75 м, средняя 2,96. Цвет глин серый, светло-серый, желтый, серовато-белый, нередко с зеленоватым оттенком. Эти глины элевритистые, в нижней части залежи запесочены и имеют желтоватый оттенок за счёт присутствия гидроокислов железа.

По минералогическому составу тугоплавкие глины каолинито-гидрослюдистые.

По содержанию тонкодисперсных фракции ($<0,001\text{мм}$) тугоплавкие глины относятся к средне- и высокодисперсному глинистому сырью. Содержание тонкодисперсных фракции колеблется от 36,8 до 84,0 %.

По пластичности глины относятся к группам средне – и высокопластичные (число пластичности 22,74-26,21). Преобладают среднепластичные глины.

Лабораторные керамические испытания показали, что тугоплавкие глины сильно – и среднеспекающиеся, низко – и среднетемпературного спекания. Цвет обожженных при температуре 1000-1150°C образцов желтый, желто – красный и красный.

Бадалыкское (Кубековское) месторождение суглинков расположено в 12 км к северу от г.Красноярска , около пос. Бадалык.

Месторождение сложено четвертичными элювиально-делювиальными суглинками , залегающими на волнистой поверхности песчано-галечниковых отложениях неогенового возраста. Суглинки залегают в виде пластообразного тела и имеют светло-темно-бурую окраску , в верхах разреза содержат точечные и нитевидные образования карбонатов ,а в нижней части- включения мелкой кварцевой гальки. Мощность суглинков изменяется от 4 до 27 м , в среднем составляет 16-17 м. Мощность суглинков увеличивается с севера на юг. Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем мощностью 0,25 – 1,0 м , в среднем 0,6 м.

В таблице 3.1 представлена характеристика глинистого сырья.

Таблица 3.1 – Характеристика глинистого сырья

Наименование показателей качества	Средняя величина показателя	
	Кубековское месторождение	Кантатское месторождение
Средняя плотность, т/м ³	1,90	2,00
Коэффициент разрыхления	1,35	1,30

Окончание таблицы 3.1

Средний химический состав, масс. %:		
SiO ₂	55,96	66,8
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	13,92	18,03
CaO+MgO	8,11	2,45
Fe ₂ O ₃	5,30	3,53
K ₂ O+Na ₂ O	4,14	1,55
SO ₃	0,02	0,03
Число пластичности	10,13	18,00
Огнеупорность, °С	До 1350	1350-1580

В качестве корректирующих добавок в керамические массы исследовали многотоннажные отходы алюминиевого производства: смешанные отходы шламового поля, отработанная угольная и шамотная футеровка. Данные отходы содержат большой запас топливных и минерализующих веществ, которые являются ценными компонентами в керамических массах, обеспечивающих интенсификацию процессов получения керамических строительных материалов. [19, 38, 47].

3.1.2 Характеристика смешанных отходов шламового поля

Смешанные отходы являются распульпированной смесью продуктов с отдельных переделов газоочистки алюминиевого производства, а именно шламов газоочистки, пыли электрофильтров, хвостов флотации угольной пены, сбрасываемых растворов регенерации вторичного криолита, смывных вод зумпфов и т.д. , и представлены тонкодисперсным материалом черного цвета с размером частиц от 0,071 до 1 мм

Химический и минералогический состав смешанных отходов шламового поля представлен в таблице 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Химический состав отходов алюминиевого производства, масс. %

Наименование отходов	Содержание компонентов								п.п.п
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O		F ⁻	
Смешанные от- ходы шламового поля	0,68	12,53	1,13	0,73	0,60	15,89	0,64	16,38	51,42

Таблица 3.3 – Минералогический состав отходов шламового поля, масс. %

Наименование минералов	Содержание, %	Описание минералов
Графит	70–73	Кристаллы черного цвета неправильной формы с метал- лическим блеском
Криолит	8–10	Пластинчатые прозрачные кристаллы со стеклян- ным блеском
Корунд	5–6	Остроугольные бесцветные зерна неправильной формы
Флюорит	4–6	Бесцветные зерна неправильной формы , ассоциирован- ные с криолитом
Нефелин	2–3	Мелкие призматические прозрачные кристаллы серого цвета

Ниже приведена микрофотография смешанных отходов шламового поля рисунок 3.1. Помимо углерода на рисунке 3.1 отчетливо видны частицы белого цвета являющиеся криолитом, фторидом натрия.

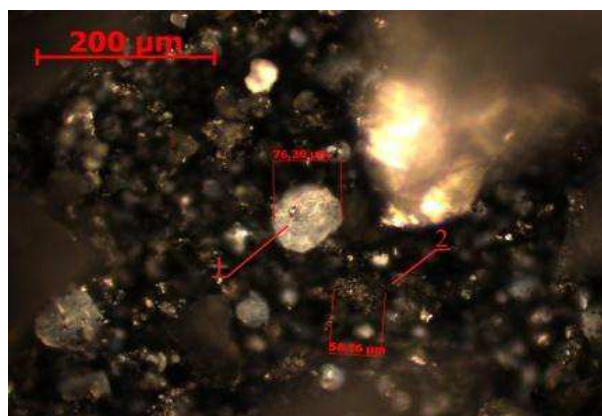


Рисунок 3.1 – Микрофотография смешанных отходов шламового поля:

1 – криолит; 2 – графит

Годовой объем образования смешанных отходов шламового поля на Красноярском алюминиевом заводе составляет 30-31,4 тыс. тонн.[39].

3.1.3 Характеристика отработанной угольной футеровки алюминиевого электролизера

Отработанная угольная футеровка – отход производства алюминия, образующийся при капитальном ремонте электролизеров. После дробления и грохочения крупные куски отработанной угольной футеровки утилизируются в металлургическом производстве, а просыпь от дробления (менее 5 мм) не находит применения и вывозится в отвал. Преимущественный размер частиц просыпи (более 90%) – до 1,25мм [32].

Отработанная угольная футеровка алюминиевых электролизеров (углеродные блоки, выломы, пропитанные фтористыми соединениями алюминия, натрия, спекшиеся с небольшим количеством шамотного кирпича) содержит, в основном, более 30 масс.% углерода, фториды алюминия, натрия, криолит, ряд примесей, в том числе цианиды (~0,1-0,3%).

В таблице 3.4 приведен химический состав угольной футеровки [12].

Таблица 3.4 – Химический состав отработанной угольной футеровки электролизеров (масс.%)

Наименование Отходов	Содержание компонентов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	F ⁻	Na ⁺	C
Отработанная угольная футеровка электролизеров	22,40	15,01	2,05	2,60	2,58	До 15	до 15	до 67

Микрофотографии исследованных фракций данного техногенного продукта после одностадийного дробления на щековой дробилке общей технологической пробы представлены на рисунке 3.2.

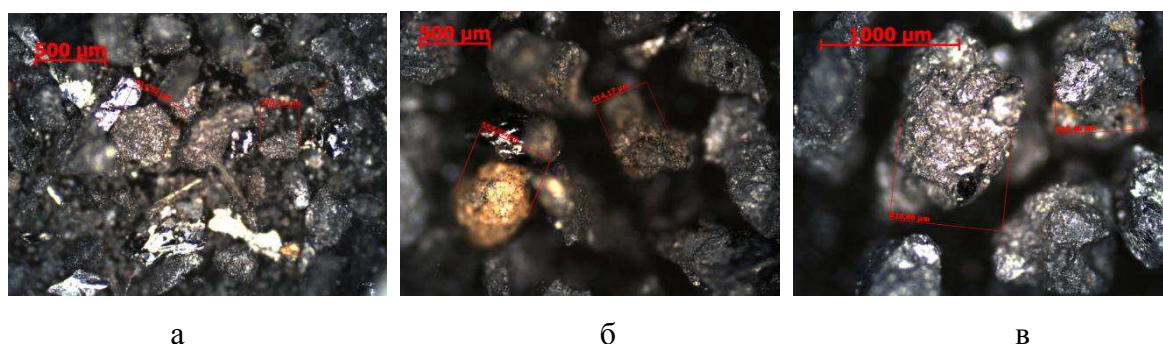


Рисунок 3.2 – Микрофотографии угольной футеровки : а– фр. $-0,4+0,2$ мм; б–фр. $-0,5+0,4$ мм; в–фр. $-1+0,5$ мм

Гранулометрический состав угольной футеровки проведен путем отсева отхода на ситовом анализаторе на отдельные фракции. Результаты отсева технологической пробы отхода массой 1 кг приведены на рисунке 3.3.

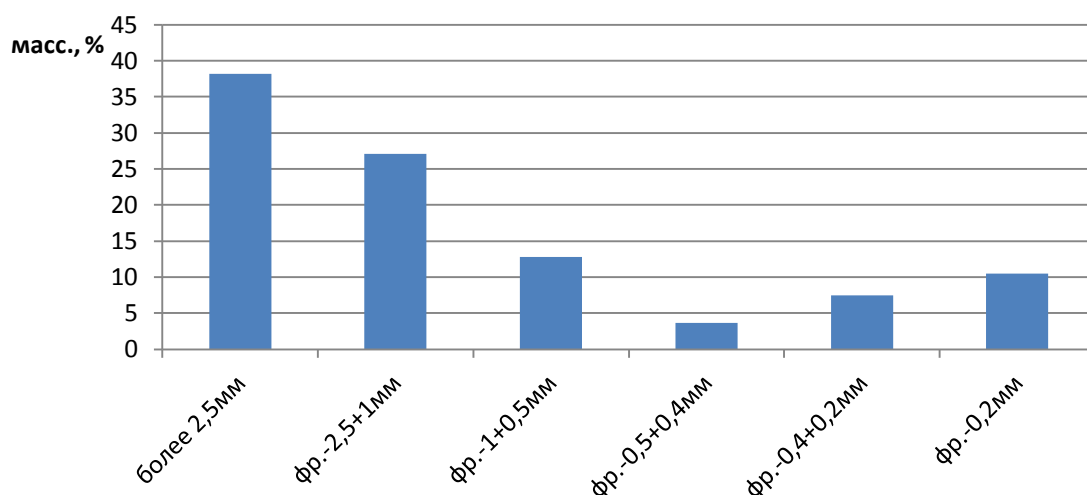


Рисунок 3.3 – Гистограмма фракционного состава отработанной угольной футеровки

Согласно проведенному гранулометрическому анализу преобладающей является фракция с размером частиц от 2,5 до 0,5 мм.

Годовой объем образования отработанной угольной футеровки на Красноярском алюминиевом заводе составляет 43-44 тыс. тонн.[39].

3.1.4 Характеристика отработанной шамотной футеровки алюминиевого электролизера

Отработанная шамотная футеровка – отход производства алюминия, образующийся при капитальном ремонте электролизеров.

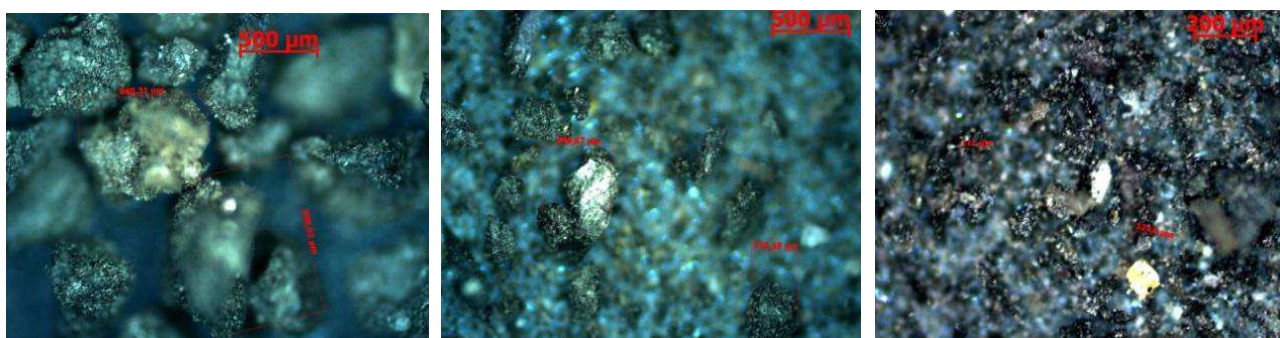
Состоит шамотная футеровка преимущественно из SiO_2 и Al_2O_3 , с примесями фтор содержащих соединений.

В таблице 3.5 приведен химический состав шамотной футеровки [12].

Таблица 3.5 – Химический состав отработанной шамотной футеровки электролизеров (масс.%).

Наименование Отходов	Содержание компонентов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₄ ²⁻	F ⁻
Отработанная шамотная футеровка электролизеров	65,64	20,86	2,78	0,90	0,86	4,21	0,23	2,53

Микрофотографии исследованных фракций данного техногенного продукта после двухстадийного дробления на щековой дробилке общей технологической пробы представлены на рисунке 3.4. [32].



X₁ – (фр.–1+0,5 мм)

X₂ – (фр.–0,5+0,4мм)

X₃ – (фр.0,2+0,071мм)

Рисунок 3.4 – Микрофотография фракций отработанной шамотной футеровки алюминиевого электролизера.

Гранулометрический состав шамотной футеровки определен путем рассева отхода на ситовом анализаторе на отдельные фракции. Результаты рассева технологической пробы отхода массой приведены на рисунке 3.5

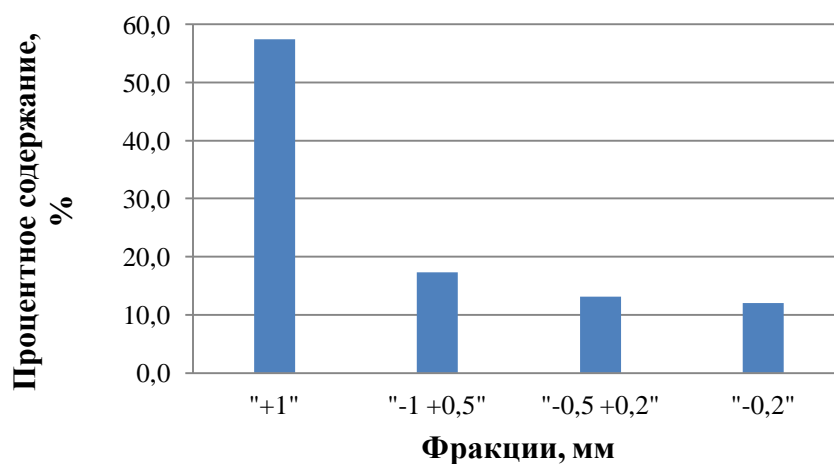


Рисунок 3.5 – Гистограмма фракционного состава отработанной угольной футеровки

Согласно проведенному гранулометрическому анализу преобладающей является фракция с размером частиц .

Годовой объем образования отработанной шамотной футеровки на Красноярском алюминиевом заводе составляет 19-20 тыс. тонн.[39].

3.2 Разработка состава керамических масс с использованием отходов алюминиевого производства

Оценка функционального назначения отходов проведена с учетом их химического, минералогического и гранулометрического состава и рекомендаций по нормам технологического проектирования заводов по производству керамического кирпича [8, 9, 10]. Нормы технологического проектирования представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Нормы технологического проектирования заводов по производству керамического кирпича

	Количество (по V),%	Мах допустимая фракция, мм
Отощающие добавки		
Кварцевый песок	10-25	-
Древесные опилки	5-15	-
Уносы керамзитовые	5-10	-
Лигнин, целлолигнин	5-15	-
Дегидратированная глина	15-40	-
Шамот :	3-10	-
- для полнотелых изделий	-	3,0
- для пустотелых изделий	-	2,0
- для лицевых изделий	-	1,5
Доменные и ваграночные шлаки	5-25	3,0
Топливосодержащие добавки		
Уголь (тощий)	2-10	0,6
Золы ТЭС	10-75	0,6
Отходы углеобогащения	10-100	0,6
Отходы угледобычи	10-25	0,6
Котельные шлаки	10-20	0,6
Отходы графитового производства	5-10	0,6
Опилки и др. органические материалы	-	1,5
Пластифицирующие добавки		
Высокопластичная глина	5-20	В виде порошка или шликера
Бентонитовая глина	2-9	В виде водного раствора
Поверхностно-активные вещества	0,3-2	-
Флюсующие добавки		
Стеклобой	5-10	0,5

Окончание таблицы 3.6

Пиритные огарки	5-10	1,0
Добавки, предотвращающие высолы на поверхности лицевых изделий		
Углекислый барий	0,5-1	В виде водной суспензии или водного раствора
Гидрат окиси бария	0,5-1	
Окрашивающие добавки		
Марганцевые и хромистые руды	3-10	-
Железистая руда	5-15	-
Карбонатные породы	15-30	0,1 или в виде шликера

Исходя из данных таблицы 3.6 определено многофункциональное назначение отходов алюминиевого производства:

- топливосодержащая добавка;
- отошающая добавка;
- флюсующая добавка.

С целью выявления оптимального количества отходов в керамической массе были получены образцы содержащие от 5 до 25 масс. % трех основных отходов алюминиевого производства. На полученных образцах были исследованы основные физико-механические свойства: линейная воздушная усадка ($I_{\text{возд}}$, %); кажущаяся плотность (ρ , г/см³); водопоглощение (W , %); прочность при сжатии ($R_{\text{сж}}$, МПа).

Результаты измерения физико-механических свойств обожженных образцов с различным содержанием отхода представлены на рисунках 3.6 – 3.7.

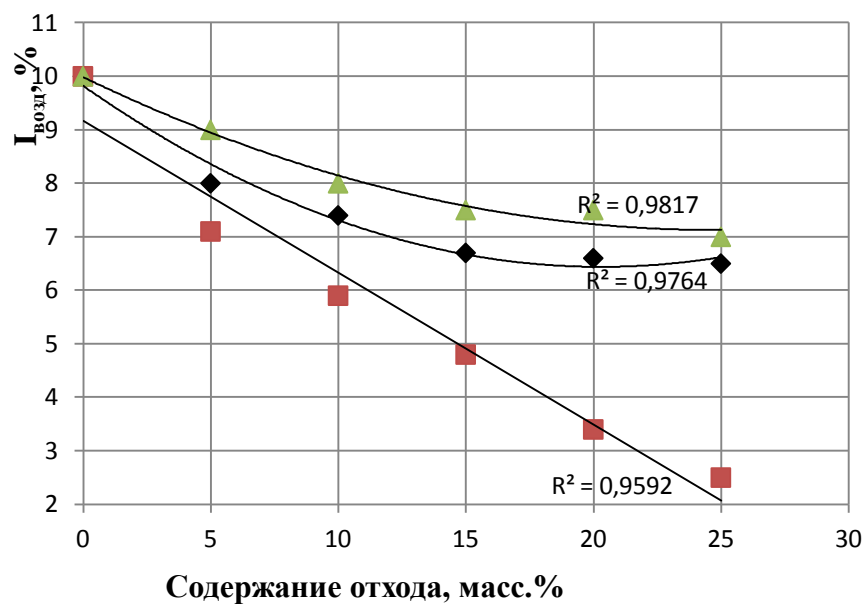
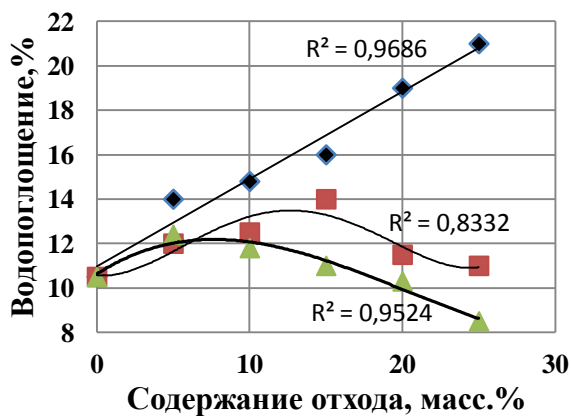
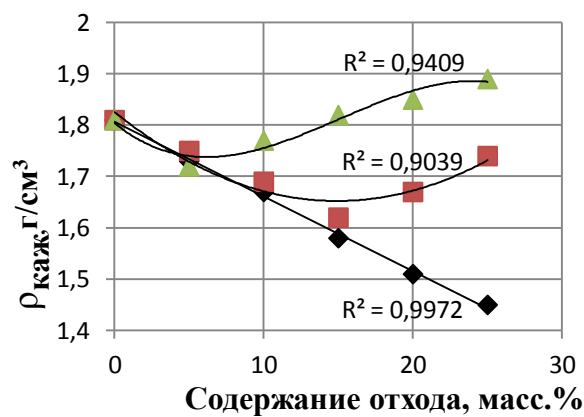


Рисунок 3.6 – Зависимость линейной воздушной усадки от содержания отхода

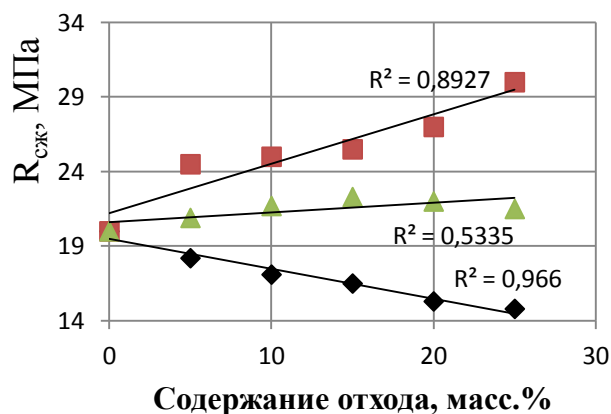
В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении содержания отходов алюминиевого производства, наблюдается общая тенденция уменьшения линейной воздушной усадки керамической массы, за счет уменьшения усадочных явлений в процессе сушки. Наибольший отошающий эффект достигается при введении отработанной шамотной футеровки. Линейная воздушная усадка керамических масс содержащих 25 масс.% данного вида отходов не превышает 2,5%. При этом в массах содержащих 25 масс.% угольной футеровки и смешанных отходов шламового поля значения линейной воздушной усадки составляют 6,5 и 7 % соответственно. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что для улучшения сушильных свойств керамических масс целесообразно использовать шамотную футеровку, которая позволяет снизить линейную воздушную усадку керамической массы в 4 раза, по сравнению с заводской шихтой [1, 2, 44].



(а)



(б)



(в)

Рисунок 3.7 – Зависимость водопоглощения (а), кажущейся плотности (б) и прочности при сжатии от содержания отхода (в).

Основными показателями характеризующими степень спекаемости керамического материала являются водопоглощение и кажущаяся плотность. Количественно степень спекаемости глин характеризуют температурным интервалом спекания и интервалом спекшегося состояния. Известно, что спекшимся считается керамический черепок, имеющий водопоглощение не более 5%. При обжиге глинистых систем, реализуется механизм жидкофазного спекания, при котором заполнение пор и усадка материала протекает за счет образования значительного количества жидкой фазы представляющей собой железистые силикатные расплавы. С увеличением содержания отработанной угольной футеровки происходит значительное увеличение водопоглощения от 10 до 21%, при этом кажущаяся плотность уменьшается от 1,81 до 1,45 г/см³. Это связано с тем

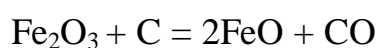
что в процессе обжига происходит выгорание угольной футеровки с образованием значительного количества пор. При этом содержащиеся в ней фтористые соединения не оказывают значительного минерализующего эффекта. Высокая пористость образцов приводит к снижению прочности. Согласно проведенным исследованиям прочность образцов с отработанной угольной футеровкой снижается от 20 до 15 МПа. Использование угольной футеровки позволяет значительно повысить теплоизоляционные свойства, при этом получить кирпич марки М150 [51, 52]

При добавлении шамотной футеровки водопоглощение сначала повышается достигая максимума в 14% при содержания отхода 15 масс.%, а затем снижается до 11% при содержания отхода 25 масс.%. Сложный характер изменения водопоглощения объясняется комплексным действием компонентов отхода на процесс спекания. Это связано с тем, что содержащийся в составе отработанной шамотной футеровке углерод, сгорает в процессе обжига, повышая общую пористость керамического черепка. Увеличение содержания отхода в шихте более 15 масс.%, приводит к уменьшению водопоглощения, что связано с плавлением в температурном интервале обжига 1000-1100 °С основных минерализующих составляющих футеровки – NaF и Na₃AlF₆, и образованию высокотемпературной жидкой фазы и интенсификации процессов спекания.[2, 22] При этом кажущейся плотность достигает максимального значения 1,75 г/см³ при содержании отхода 25 масс.%. Прочность образцов с добавлением отходов шамотной футеровки увеличивается достигая 30 МПа при содержании отхода 25 масс.%. Частицы отработанной шамотной футеровки является не только источником минерализующего компонента, но и выполняют роль армирующего компонента равномерно распределенного в аморфизированной матрице, способствующего повышению физико-механических свойств керамики. Что подтверждается микроструктурой керамических образцов представленной на рисунке 3.8.[18]



Рисунок 3.8 – Микроструктура керамических образцов

Анализ полученных результатов показывает, что использование смешанных отходов шламового поля позволяет достичь наименьшего значения водопоглощения (8,5%) и наибольшего значения кажущейся плотности образцов ($1,89 \text{ г/см}^3$) при содержании отхода 25 масс.%. Полученный эффект достигается за счет комплексного воздействия компонентов отхода на процессы спекания. Содержащийся в шламе мелкодисперсный углерод способствует созданию восстановительной атмосферы в процессе обжига, что приводит к переходу содержащихся в суглинке Кубековского месторождения оксидов железа в закисную форму по следующей реакции [1]:



Образующаяся оксид железа (II) реагирует с аморфным оксидом кремния с образованием дополнительного количества силикатных расплавов обладающих высокой реакционной способностью.

Наличие в шламе значительного количества низковязких минерализующих компонентов (более 16%), способствует повышению текучести железистых силикатных расплавов и формированию оптимальных кристаллизационных структур, в том числе за счет образования фазы анортита в процессе обжига. (2, 40). Рентгено-фазовый анализ образцов показал тенденцию увеличения полезной кристаллической фазы – анортита с увеличением содержания сме-

шанных отходов шламового поля. Содержание основных кристаллических фаз в обожженных образцах со смешанными отходами шламового поля представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Содержание основных кристаллических фаз в образцах со смешанными отходами шламового поля

Кристаллическая фаза	Содержания отхода масс.%		
	0	10	20
Кварц	19,3	16,8	13,1
Кристобалит	4,8	3,4	2,65
Анортит	55,1	63,6	71,2
Магнетит	8,2	6,4	5

Рентгенограмма керамического образца содержащего 25 масс.% представлена на рисунке 3.6. Следует отметить что образцы содержащие более 20 масс.% деформируются и частично оплавляются в процессе обжига. При этом наблюдается снижение их прочности при сжатии до 21 МПа.

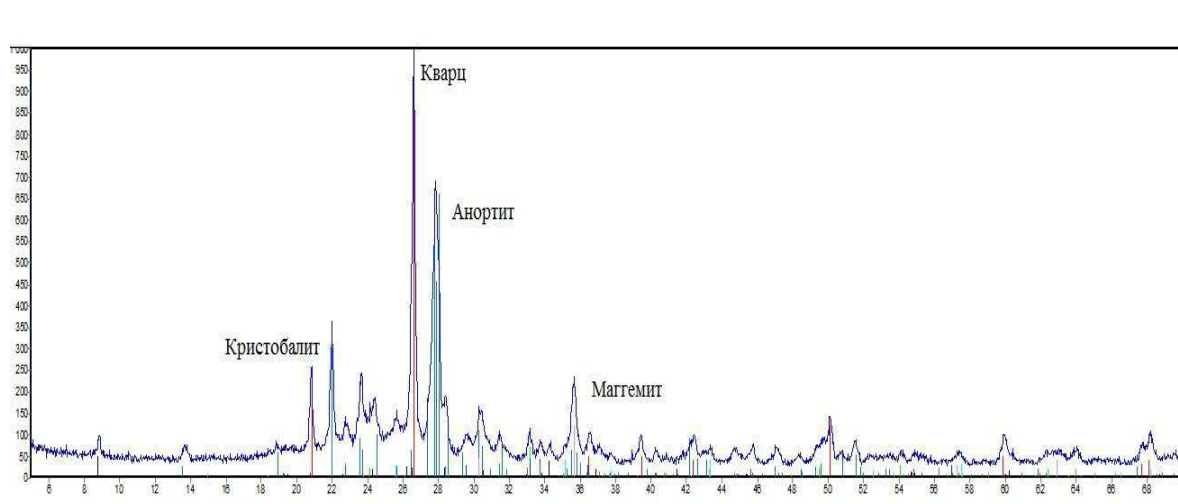


Рисунок 3.9 – РФА обожженных образцов.

3.3 Оптимизация технологических параметров получения керамического кирпича с использованием смешанных отходов шламового поля

Целью оптимизации параметров являлся подбор оптимальных условий получения керамического кирпича с использованием смешанных отходов шламового поля, соответствующего техническим требованиям согласно ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

3.2.1 Выбор параметров оптимизации и факторов воздействия

В качестве параметров оптимизации выбраны: кажущаяся плотность, г/см^3 (Y_1), водопоглощение, % (Y_2), усадка линейная общая, % (Y_3), усадка объемная общая, % (Y_4). Выбор данных параметров оптимизации основан на существенном их влиянии на эксплуатационные свойства, обеспечивающие долговечность изделий.

В качестве факторов воздействия выбраны: содержание отхода, % по массе (X_1); продолжительность обжига t ч, (X_2); температура обжига T °С, (X_3). Эти факторы в большой степени воздействуют на представленные параметры оптимизации.

Температура спекания

Спекание прессовок – одна из основных технологических операций порошковой металлургии. Полезные свойства изделий получают после значительного уплотнения спекаемого материала. Практическая задача спекания состоит в получении изделий с заданной или допустимой пористостью.

Выбор температуры спекания керамических масс базируется на исходном глинистом сырье, то есть на температуре плавления глинистой составляющей керамической массы. Верхний предел температуры спекания находится как 0,85 от температуры плавления. Нижний предел зависит от возможности протекания определенных физико-химических процессов в глинистом сырье и тех-

ногенных добавках. Рассматривая описание схемы 1.1 при температуре 800–900 °С в глинистом сырье начинают образовываться жидкие фазы [14].

Жидкая фаза на контакте твердых частиц может находиться вследствие различных причин: плавления примесей (добавок), образования низкоплавких эвтектик, «контактного плавления», плавления тонкодисперсных частиц и др. Количество жидкой фазы для ее участия в спекании должно быть достаточным, чтобы заполнить некоторый объем пор. Жидкая фаза распространяется по поверхности твердой фазы по двум механизмам: поверхностной диффузией и растеканием.

Источниками жидкой фазы могут быть легкоплавкие эвтектики, которые образуются в результате взаимодействия щелочноземельных CaO и MgO и щелочных Na₂O и K₂O оксидов при взаимодействии с SiO₂ и TiO₂.

В процессе спекания в пределах температур 150–200 °С выделяется остаточная влага (вода затворения, гигроскопическая вода). В этот период обжига при недостаточной тяге и большом выделении паров воды может иметь место их конденсация на изделиях, которая приводит к образованию посечек и трещин.

При дальнейшем нагревании изделий при температуре 400–600 °С в глине происходит разложение каолинита с выделением химически связанной воды. В температурной интервале 600–900 °С происходит равномерное и небольшое объемное изменение, в общем соответствующее линейной усадке в пределах 2–2,5 %, и дальнейшее повышение прочности изделий. В этом же температурном интервале происходит окисление углеродистых примесей и сульфидов, разложение карбонатов кальция и магния и некоторых других примесей.

При 800 °С начинается спекание, сопровождающееся уменьшением пористости. Спекание при обжиге происходит за счет жидкой фазы, появляющейся в неравновесных условиях уже при сравнительно низких температурах (800–1000 °С). Спеканию способствует тонкое измельчение составляющих масс.

Увеличение в объеме, наблюдаемое при температуре выше 1300 °С, вызывается вспучиванием глины, обусловленным выделением газообразных про-

дуктов и их расширением; оно наблюдается при обжиге выше температуры спекания. Обжиг образцов следует проводить при температуре 950–1000 °С.

Содержание отхода

Смешанные отходы шламового поля содержат в себе два важных компонента углерод и фторидные соли, которые оказывают значительное влияние на процесс спекания керамических масс. В том числе на образование жидкой фазы способствующей образованию высокопрочных керамических структур [18]. Содержащийся в отходах шламового поля углерод будет интенсивно сгорать при температурах обжига 700–900 °С, что будет способствовать выделению дополнительной тепловой энергии непосредственно в теле обжигаемого изделия. Также углерод будет создавать восстановительную атмосферу способствующую восстановлению оксида железа (Fe_2O_3) до его закиси (FeO), которая в свою очередь будет образовывать силикатные расплавы и интенсифицировать процесс спекания. Фторидные соединения, содержащиеся в отходе, способствуют понижению динамической вязкости расплавов, которые заполняют поры внутри образца, что также ускоряет процесс спекания и позволяет получать изделия с повышенными физико-механическими характеристиками.

Продолжительность выдержки

Цикл обжига керамических изделий состоит из периодов нагревания, выдержки в области максимальных температур и охлаждения. Конечная температура обжига и продолжительность выдержки обуславливается комплексом требований к свойствам изделия. Скорость процессов спекания в обжиге сильно возрастает с температурой. Чаще всего главное требование к выдержке заключается именно в достижении определенной степени спекания [5]. Однако в иных случаях требуемая температура и продолжительность выдержки определяются необходимостью завершения химических реакций или фазовых превращений.

В ряде случаев, возможно, значительно варьировать соотношение температуры и продолжительности выдержки, получая в конечном счете аналогичный результат. Задаваемый температурный интервал обжига изделий из одной и той же массы может иногда меняться в пределах 100 °С и даже более. Так как для завершения спекания температура обжига является более действенным фактором, чем время выдержки, то снижение температуры обжига в допустимых пределах требует очень значительного удлинения выдержки, например с 0,25–0,5 до 5–8 ч и более. С технико-экономической точки зрения (расход топлива, производительность печей) более рационален относительно короткий обжиг при более высоких температурах.

Режим выдержки выбирают с учетом не только физико-химической характеристики материала, но и в зависимости от формы и размеров изделий. Роль этого фактора определяется тем, что продолжительность варьирования температуры в теле изделия пропорциональна квадрату его толщины, то есть наименьшего линейного размера по сечению.

Период нагревания является весьма сложной стадией обжига. Основная задача в этот период заключается в том, чтобы нагреть изделие до требуемой максимальной температуры, избежав при этом его разрушения (повреждения). Опасность разрушения изделия вызывается в основном объемными изменениями при нагревании и в ряде случаев интенсивными процессами массообмена.

Период охлаждения для ряда керамических материалов (особенно полученных на основе твердофазного спекания) не сопровождается существенными физико-химическими процессами, если не считать нормального термического сжатия. При этом в теле охлаждаемого изделия возникают временные термические напряжения, обратные по знаку напряжениям, обусловленным расширением при нагревании.

Фактическая длительность обжига различных типов керамических изделий в промышленных печах почти всегда намного превышает минимальную продолжительность, требуемую для получения бездефектной продукции. В на-

стоящее время во многих отраслях керамических производств ведут работы по сокращению продолжительности обжига изделий.

На основании априорной информации выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Факторы, влияющие на процесс получения, керамических строительных материала с использованием отходов шламового поля и интервалы их варьирования приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
X ₁ – содержание отхода, масс. %	5	10	15	5
X ₂ – продолжительность обжига t, ч	2	3	4	1
X ₃ – температура обжига T, °C	900	950	1000	50

Оптимизацию технологических параметров получения керамического кирпича, проводили с использованием математического планирования, путем реализации полного факторного эксперимента 2³. План и результаты проведенных исследований представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – План и результаты экспериментов

Опыт	В безразмерном масштабе			В натуральном масштабе			Отклики			
	X ₁	X ₂	X ₃	отход, %	τ, ч	С	ρ _{кж}	W	I _{общ}	V _{общ}
1	-	-	+	5	2	1000	1,72	12,16	8,20	20,66
2	+	-	+	15	2	1000	1,69	11,87	8,00	20,00
3	-	+	+	5	4	1000	1,72	11,87	10,00	22,25
4	+	+	+	15	4	1000	1,68	11,32	9,53	18,82
5	-	-	-	5	2	900	1,72	14,97	9,67	20,00
6	+	-	-	15	2	900	1,64	14,58	8,00	18,45
7	-	+	-	5	4	900	1,70	14,48	8,00	20,70
8	+	+	-	15	4	900	1,60	13,49	7,80	17,77

По полученным данным и представленной выше методике были рассчитаны следующие параметры оптимизации:

- Кажущаяся плотность ρ_{кж}, г/см³ (Y₁);
- Водопоглощение W, % (Y₂);

- Усадка линейная общая $l_{\text{общ}}$, % (Y_3);
- Усадка объемная общая $V_{\text{общ}}$, % (Y_4).

Для выбранных параметров оптимизации рассчитали уравнения регрессии, представленные ниже:

$$Y_1 = 1,68 - 0,027 \cdot X_1 - 0,008 \cdot X_2 + 0,018 \cdot X_3 + 0,013 \cdot X_1 \cdot X_3;$$

$$Y_2 = 13,09 - 1,29 \cdot X_3;$$

$$Y_3 = 8,65 - 0,32 \cdot X_1 + 0,28 \cdot X_3 + 0,65 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_4 = 19,83 - 1,07 \cdot X_1 + 0,60 \cdot X_3 - 0,52 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,17 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

По критерию Фишера проверяется адекватность линейной модели. В таблице 3.10 представлены результаты расчета адекватности модели.

Таблица 3.10 – Расчет адекватности линейной модели

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Расчетное значение критерия Фишера $F^{\text{расч}}$	11,55	10,35	9,5	10,27
Табличное значение критерия Фишера $F^{\text{табл}}$	9,01	9,01	9,01	9,01
Адекватность уравнения	Адекватно	Адекватно	Адекватно	Адекватно

В связи с тем, что табличные значения критерия Фишера для параметров оптимизации не превышают экспериментальные, гипотезу об адекватности линейной модели можно считать верной с достоверностью 95 %.

Проведем анализ полученных уравнений регрессий.

Уравнение регрессии для кажущейся плотности имеет вид:

$$Y_1 = 1,68 - 0,027 \cdot X_1 - 0,008 \cdot X_2 + 0,018 \cdot X_3 + 0,013 \cdot X_1 \cdot X_3$$

Полученное уравнение показывает, что увеличение содержания отхода приведет к уменьшению кажущейся плотности, так как коэффициент в уравнении имеет отрицательный знак. Однако знак (+) перед двойным взаимодействием

ем показывает, что при переходе первого фактора с верхнего уровня на нижний эта тенденция может нарушиться. Об этом свидетельствует знак (+) перед коэффициентом X_3 , при увеличении температуры спекания увеличится кажущаяся плотность. Коэффициенты перед X_2 стоит со знаком (-), который говорит о том, что при увеличении продолжительности обжига, кажущаяся плотность будет уменьшаться. Максимальное значение коэффициента по модулю стоит перед X_1 , что говорит о наибольшем влиянии на кажущуюся плотность содержания отхода в керамической массе.

Уравнение регрессии для водопоглощения имеет вид:

$$Y_2 = 13,09 - 1,29 \cdot X_3$$

Из уравнения следует, что при увеличении температуры обжига от 900 до 1000 °С, наблюдается уменьшение водопоглощения.

Уравнение регрессии для линейной общей усадки имеет вид:

$$Y_3 = 8,65 - 0,32 \cdot X_1 + 0,28 \cdot X_3 + 0,65 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Максимальное коэффициента стоящего перед X_1 , говорит о том что, наибольшее значение на усадку оказывает содержание отхода. Знак (-) перед коэффициентом, свидетельствует о уменьшении линейной общей усадки при увеличении содержания отхода. Знак (+) перед коэффициентом X_3 , показывает, что при увеличении температуры обжига усадка увеличится. Также это подтверждает двойное взаимодействие с положительным коэффициентом.

Уравнение регрессии для объемной общей усадки имеет вид:

$$Y_4 = 19,83 - 1,07 \cdot X_1 + 0,60 \cdot X_3 - 0,52 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,17 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

Наибольшее влияние на объемную общую усадку оказывает содержание отхода, при увеличении этого фактора от 5 до 15 % усадка уменьшается. Также

знак (-) перед двойным и тройным взаимодействием показывает, что при переходе первого фактора с верхнего уровня на нижний эта тенденция не нарушится. Знак (+) перед коэффициентом X_3 , свидетельствует, о увеличении объемной общей усадки с увеличением температуры обжига.

Для удобства использования уравнения регрессии переведем в натуральный масштаб.

Уравнения регрессии в натуральной форме имеют вид:

$$Y_1=3,21-0,055 \cdot C-0,008 \cdot t-1,6 \cdot 10^{-4} \cdot T+5,2 \cdot C \cdot T;$$

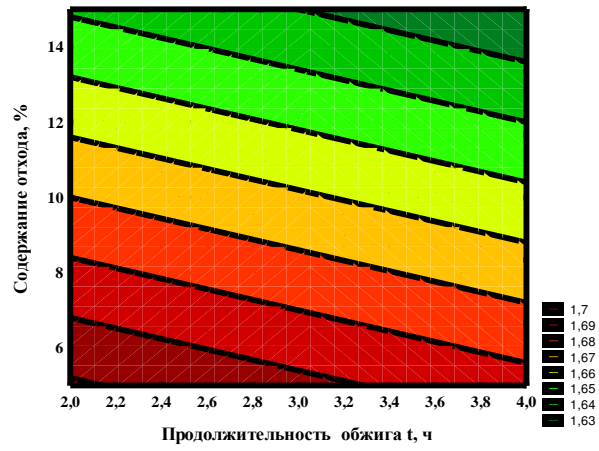
$$Y_2=37,6-0,026 \cdot T;$$

$$Y_3=41,02-0,064 \cdot C-0,033 \cdot T+0,013 \cdot T \cdot t-12,35 \cdot t;$$

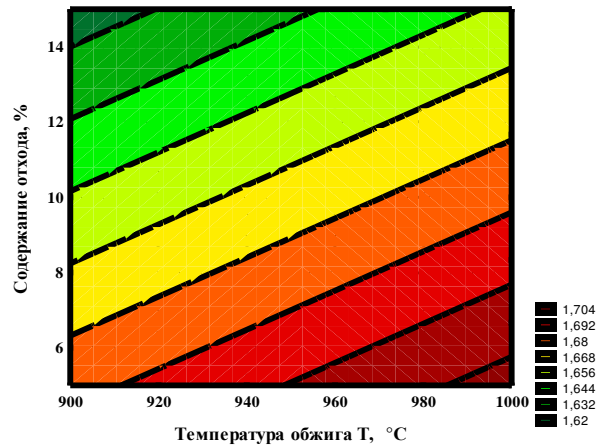
$$Y_4=55,42+2,04 \cdot C-8,4 \cdot 10^{-3} \cdot T+0,54 \cdot C \cdot t+7,5 \cdot t-6,8 \cdot 10^{-4} \cdot C \cdot t \cdot T+6,8 \cdot 10^{-3} \cdot t \cdot T+2,04 \cdot 10^{-3} \cdot C \cdot T;$$

3.3 Обработка результатов исследования. Построение графиков

Для удобства восприятия установленных закономерностей в программе «Статистика» построены графики зависимости основных факторов воздействия и параметров оптимизации, которые представлены на рисунках 3.10–3.13.

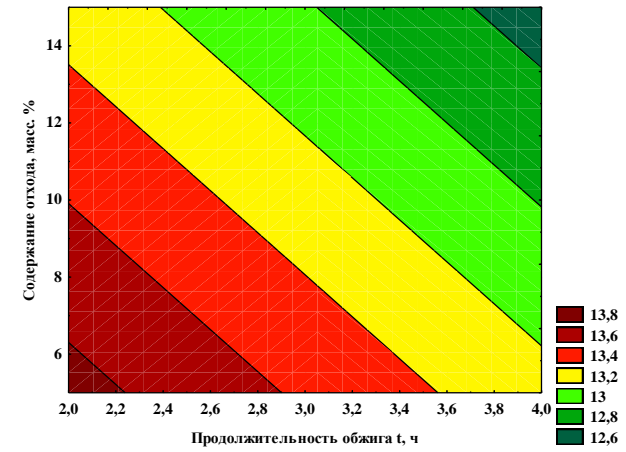


а)

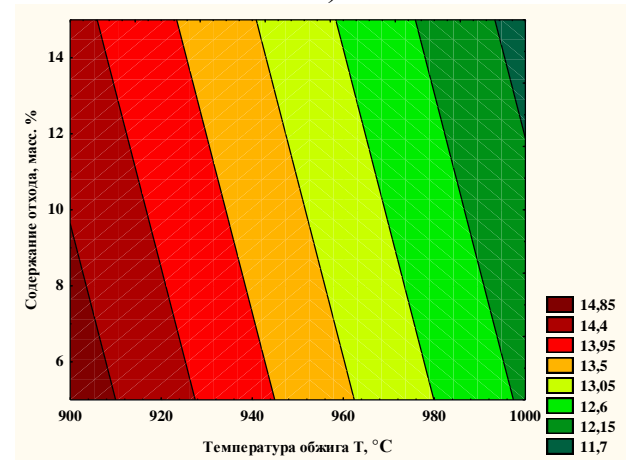


б)

Рисунок 3.10 – Зависимость кажущейся плотности от содержания отхода и а) от продолжительности обжига, б) от температуры обжига

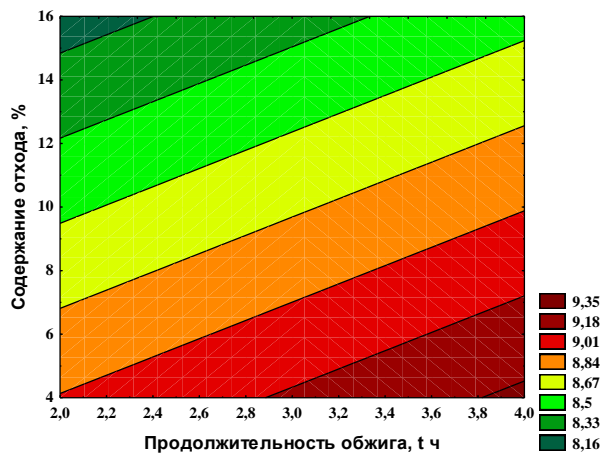


а)

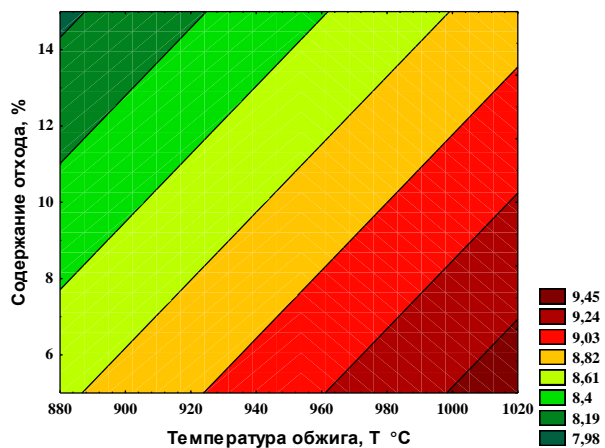


б)

Рисунок 3.11 – Зависимость водопоглощения от содержания отхода и а) от продолжительности обжига, б) от температуры обжига

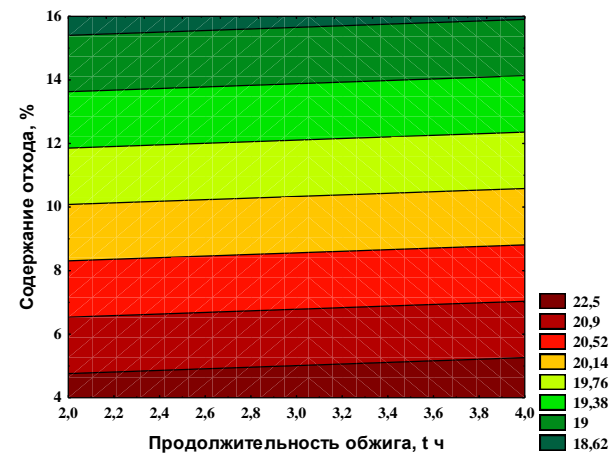


а)

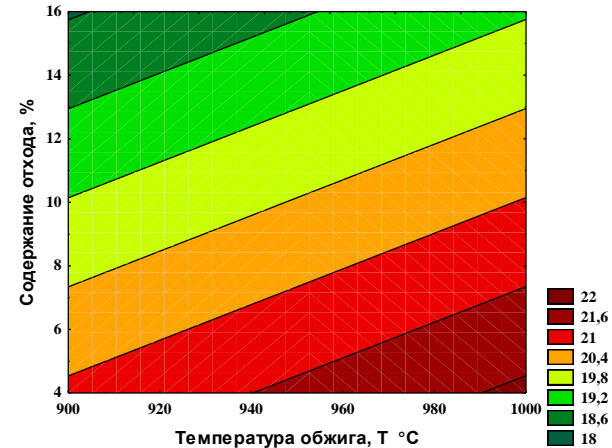


б)

Рисунок 3.12 – Зависимость линейной общей усадки от содержания отхода и а) от продолжительности обжига, б) от температуры обжига



а)



б)

Рисунок 3.13 – Зависимость объемной общей усадки от содержания отхода и а) от продолжительности обжига, б) от температуры обжига

Установлено, что при увеличении содержания отхода, наблюдается общая тенденция уменьшения кажущейся плотности в интервале от 1,72 до 1,60 г/см³ (рисунок 3.10), что связано с содержанием в шламе графитизированного углерода, который является эффективной топливосодержащей добавкой (теплотворная способность, $=20237$ кДж/кг), обеспечивающей равномерное распределение тепла по всему объему обжигаемого изделия, что способствует ускорению процесса спекания. Так же установлено уменьшения водопоглощения с 14,97 до 11,32 % (рисунок 3.11), при увеличении содержания отхода от 5 до 15 % в керамической шихте, что связано с минерализующим действием фторидных соединений содержащихся в смешанных отходах шламового поля, способствующих формированию низковязкого расплава интенсифицирующего процесс спекания и все это способствует формированию изделий с высокими физико-механическими характеристиками.

Наблюдается уменьшение общей усадки объемной от 22,25 до 17,77 (рисунок 3.13) и линейной в интервале от 10 до 7,8 % (рисунок 3.12) с повышением содержания отхода. Это связано с содержанием в отходе углерода являющегося отошающей добавкой, которая способствует уменьшению усадочных явлений в процессе сушки [19].

Проведенный анализ микрофотографии обожженных образцов показывает наличие в них зерен кварца (1), а так же аморфизированного глинистого (2) вещества и пор (3) оставшихся после выгорания углеродной составляющей шлама рисунок 3.14.

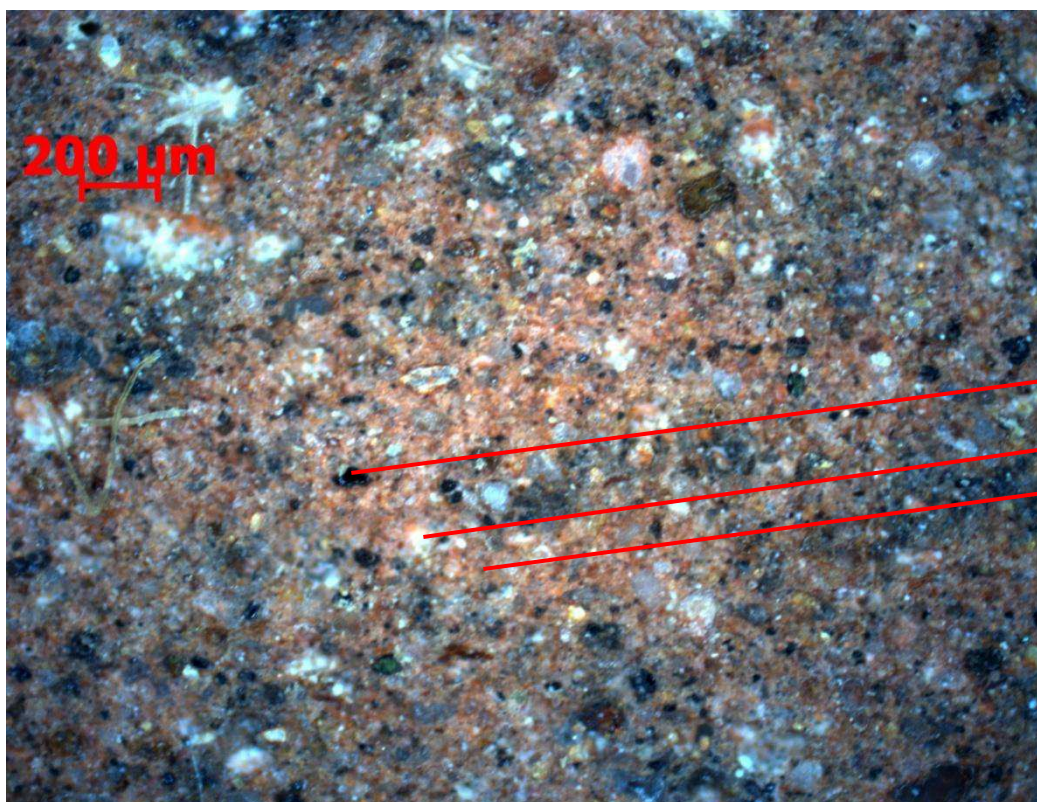


Рисунок 3.14 – Микрофотография обожженного образца

На образце полученном при оптимальных технологических параметрах определены физико-механические показатели, В соответствии с ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» [8]. Основные физико-механические показатели представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Основные физико-механические показатели

Наименование показателя	Стандартный образец	Образец оптимального состава
Водопоглощение, %: Рядовой кирпич	Не менее 6	11,32
Морозостойкость, цикл	Не менее 50	Не менее 50
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²)	15 (150)	25 (250)

Выводы по главе:

1. Проведенный химический и минералогический анализ показал наличие фтористых соединений (криолит, хеалит) во всех исследуемых отходах, при этом максимальное содержание фтористых солей, до 17 масс.%, содержится в смешанных отходах шламового поля. При этом содержании в отработанной угольной футеровки и смешанных отходах шламового поля 67 и 51 масс.% соответственно.

2. В соответствии с составом отходов и нормами технологического проектирования заводов по производству керамических материалов определено следующее функциональное назначение отходов: отходы могут вводиться как топливная, отошающая и флюсующая добавка.

3. Исследовано влияние количества вводимого отхода от 5 до 25 масс. % на физико-механических свойств керамических образцов.

4. Установлено, что при увеличении содержания отходов алюминиевого производства, наблюдается общая тенденция уменьшения линейной воздушной усадки керамической массы, за счет уменьшения усадочных явлений в процессе сушки. Наибольший отошающий эффект достигается при введении отработанной шамотной футеровки. Линейная воздушная усадка керамических масс содержащих 25 масс.% данного вида отходов не превышает 2,5%.

5. Анализ полученных результатов показывает, что использование смешанных отходов шламового поля позволяет достичь наименьшего значения водопоглощения (8,5%) и наибольшего значения кажущейся плотности образцов ($1,89 \text{ г/см}^3$) при содержании отхода 25 масс.%. Полученный эффект достигается за счет комплексного воздействия компонентов отхода на процессы спекания с образованием полезных кристаллических фаз, в частности анортита.

6. Максимальные значения прочности керамических образцов 30 МПа достигается при введении 25 масс.% отработанной шамотной футеровки.

4 ОХРАНА ТРУДА

При выполнении работы приходится сталкиваться с рядом опасных и вредных факторов, которые требуют соблюдения техники безопасности и охраны труда. К опасным и вредным факторам относятся движущиеся механизмы, отлетающие частицы обрабатываемого материала и инструмента, электрический ток и повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов и т.д. Все это может привести к травме человека и лишить его трудоспособности на долгое время [15].

Одной из целей исследования является предотвратить возможные неблагоприятные последствия его работы. Для этого нужно проанализировать условия проведения дипломной работы, куда входят:

- характеристика помещения (освещенность и микроклимат);
- токсикологическая характеристика используемых и образующихся веществ;
- противопожарная безопасность;
- электробезопасность и др.

Невозможно разработать абсолютно безопасный процесс или технику, но нужно стараться свести все вредные и опасные факторы к нулю.

4.1 Анализ условий проведения эксперимента в отношении возможных опасных и вредных факторов

Данная работа проводилась в лаборатории кафедры «Композиционные материалы и физикохимия металлургических процессов». Основными материалами, которые использовались для получения строительных керамических материалов являлись, глина, суглинок и отработанные отходы алюминиевого производства. Перечень потенциально опасных и вредных факторов приведен в таблице 4.1.

4.2 Физико – химическая и токсикологическая характеристика применяемых и образующихся веществ и материалов

В процессе работы использовались следующие материалы: глина кантатская, суглинок кубековский и отработанная угольная футеровка.

Применяемое в процессе производства сырье и материалы в ряде случаев могут оказать негативное влияние на человека и окружающую природу. Целесообразно рассмотреть токсикологическую оценку основных видов сырья.

Наибольшее процентное содержание в массе приходится на угольную футеровку. Химический состав приведен ниже в таблице 4.2.

Характеристика всех веществ, входящих в шихту (керамическую массу) приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.1 – Опасные и вредные факторы при проведении исследования

Операция технологического процесса	Наименование оборудования	Опасные факторы		Вредные факторы		
		Эл. ток	Нагретые тела	Тепловое излучение	Пыль порошков	Шум
Подготовка и измельчение исходных сырьевых материалов	Кольцевая мельница	+	–	–	+	+
Рассев материалов на фракции	Вибросита	+	–	–	+	+
Подготовка навесок, взвешивание компонентов шихты	Электронные весы	+	–	–	+	–
Формование образцов	Лабораторный пресс	+	–	–	+	+

Окончание таблицы 4.1

Сушка и обжиг образцов	Автоматическая печь	+	+	+	-	-
------------------------	---------------------	---	---	---	---	---

Таблица 4.2 – Химический состав отработанной угольной футеровки электролизеров (масс.%)

Наименование отходов	Содержание компонентов								Потери при прокаливании
	SiO ₂			CaO	MgO				
Смешанные отходы шламового поля	0,68	12,53	1,13	0,73	0,60	15,89	0,64	16,38	51,42
Отработанная угольная футеровка	22,40	15,01	2,05	2,60	2,58	До 15	0,23	До 15	2,09
Отработанная шамотная футеровка электролизеров	65,64	20,86	2,78	0,90	0,86	4,21	0,23	2,53	

Таблица 4.3 – Токсикологическая характеристика веществ

Наименование вещества	Агрегатное состояние	Количество, г/сут.	ПДК в рабочей зоне, мг/м ³	Класс токсичности	Характер воздействия на организм человека
Глина Кантатская	Твердое вещество	400	2	3	Типичное заболевание, возникающее под воздействием кремнийсодержащих пылей
Суглинок Кубековский	Твердое вещество	400	2	3	Силикоз. Опасен прогрессирующий фиброз
Отходы алюминиевого производства	Твердое вещество	1000	1	2-4	Токсическое отравление

При работе с порошками выделяется пыль, а запыленность оказывает вредное воздействие на организм человека. Пыль может вызвать глазные и кожные заболевания, болезни верхних дыхательных путей и легких.

Для предотвращения загрязнения воздуха пылью порошков в лаборатории имеется искусственная вытяжная вентиляция. Так же необходимо использование халатов, масок и резиновых перчаток.

4.3 Характеристика помещения для проведения работ

В характеристику помещения входят такие понятия, как микроклимат и освещенность.

4.3.1 Микроклимат

Микроклимат помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости человека, может привести к перегреву организма или тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания.

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая относительная влажность способствует перегреву организма, при низкой температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Подвижность воздуха эффективно способствует теплоотдаче организма и положительно проявляется при высоких температурах, но отрицательно при низких.

Работа проводилась в холодный период года, при этом категорию работ следует рассматривать как легкую. Метеорологические условия и их сравнение с нормативными значениями приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Метеорологические условия

Условия	Величина	Нормативы	Оценка
Температура воздуха, °С	20-21	20-22	Норма
Относительная влажность, %	40	30-60	Норма
Скорость движения воздуха, м/с	0,1	0,2	Норма

4.3.2. Освещение

Лаборатория представляет собой комнату площадью 24 м². Естественное освещение осуществляется через два боковых окна. Общая площадь окон 6 м². Высота помещения 3,2 м.

Освещенность в этой работе имеет немаловажное значение, так как требуется точное снятие показаний измерительных приборов.

Номинальная освещенность в рабочем помещении зависит от характера выполняемых работ. Данную работу следует отнести к работе средней точности, так как наименьший размер объекта различения 0,5-1 мм, что соответствует 4 разряду зрительной работы по СНиП 23–05–95. В связи с тем, что город Красноярск расположен в 3 поясе светового климата, нормы освещенности при искусственном освещении составляют 200 лк, коэффициент естественного освещения $e_{\text{табл}} = 1,5$, коэффициент светового климата на территории Красноярска $m = 0,9$.

Для оценки качества естественного освещения необходимо расчетное значение коэффициента естественной освещенности e_p сравнить с нормированным, определяемым с учетом характера зрительной работы, системы освещения, района расположения здания на территории России.

Нормированное значение коэффициента естественной освещенности определяется по формуле:

$$e_n = e_{\text{табл}} * m \quad (4.1)$$

$$e_n = 1,5 * 0,9 = 1,35$$

Расчетный коэффициент естественной освещенности при боковом освещении определяется по формуле:

$$e_p = 100 * S_0 * t_0 * r_1 / (S_n * \eta_0 * K_{\text{з.д.}} * K_3), \quad (4.2)$$

где S_0 – площадь световых проемов, м^2 ;

S_n – площадь пола помещения, м^2 ;

η_0 – световая характеристика помещения ($\eta_0=9$);

t_0 – общий коэффициент светопропускания ($t_0=0,5$);

r_1 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при боковом освещении ($r_1=2$);

$K_{\text{з.д.}}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противоположными зданиями ($K_{\text{з.д.}} = 1,4$);

K_3 – коэффициент запаса ($K_3 = 1,3$).

$$E_p = 100 * 6 * 0,5 * 2 / (24 * 9 * 1,4 * 1,3) = 1,53$$

Таким образом, расчетный коэффициент естественного освещения больше нормативного, значит, в лаборатории обеспечена необходимая освещенность.

В вечернее время естественного освещения недостаточно и в качестве источника искусственного света, применяются лампы накаливания мощностью 100 Вт.

Фактическая освещенность рассчитывается по формуле:

$$E = F * N * \eta / (S * K), \quad (4.3)$$

где E – искусственная освещенность, лк;

F – мощность одной лампы, Вт;

S – площадь комнаты, м²;

η – коэффициент световой отдачи ($\eta = 1,8$);

K – коэффициент запаса для лабораторного помещения ($K = 1,2$);

N – количество ламп накаливания.

$$E = 100 * 6 * 1,8 / (24 * 1,2) = 281,25 \text{ лк}$$

Действительное значение искусственного освещения в лаборатории 91 достаточно для выполнения дипломной работы.

Оценка освещенности в лаборатории приведена в таблице 46.

Шум, создаваемый оборудованием лаборатории, не превышает 60 дБА. Допустимым является шум величиной 80 дБА (ГОСТ 12.1.003–99).

Для предотвращения загрязнения воздуха пылью порошков, выделяемых при работе по истиранию оксидов, в лаборатории имеется искусственная вытяжная вентиляция.

Количество воздуха, удаляемого местной вентиляцией, рассчитывается по формуле (СниП 2.04–05–97):

$$L_{yx}^M = F * v, \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

где F – площадь всасывающего сечения, м²;

v – скорость удаляемого воздуха, м³/с;

$$F = 0,25 * 0,3 = 0,075 \text{ м}^2;$$

$$v = 0,1 \text{ м/с};$$

$$L_{yx}^M = 7,5 * 10^{-3}, \text{ м}^3/\text{с}$$

Таблица 4.5 – Оценка производственной обстановки

Факторы	Величина	Нормативы	Оценка
Микроклимат			
а) Температура воздуха, °С	20–21	20–22	Норма
б) Относительная влажность, %	40	30–60	Норма
в) Скорость движения воздуха, м/с	0,1	0,2	Норма
Освещение			
а) Естественное	1,53	1,5	Норма
б) Искусственное, лк	281,25	200	Норма
Уровень шума, дБА	60	85	Норма
Загрязненность			
а) Пыль порошков, мг/м ³	0,1	0,1	Норма

4.4 Противопожарная характеристика помещения и меры безопасности

Лабораторию, в которой проводилась данная дипломная работа, можно отнести к категории «Г», которая характеризуется как производства, имеющие негоряемые вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени (СНиП 2.09.02–97). По степени огнестойкости, со-

гласно СНиП 21.01–97 помещение относится к второй степени огнестойкости, так как конструкция здания выполнена из несгораемого материала.

Лабораторию можно отнести к помещениям повышенной опасности, так как имеется токопроводящий железобетонный пол, высокая температура в индукционной печи, автотрансформатор, находящийся под напряжением.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей.

Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Технические мероприятия сводятся к умению использовать средства тушения пожара. Применять воду для тушения установок, находящихся под напряжением категорически запрещается во избежание поражения электрическим током через струю воды. По этим же причинам нельзя применять пену. Эффективное тушение пожаров в данном случае достигается применением газовых углекислотных огнетушителей ОУ–2. При быстром испарении углекислоты образуется снегообразная масса, которая, попадая в зону горения, снижает концентрацию кислорода, охлаждает горячее вещество. Огнетушитель ОУ–2 приводится в действие вручную открыванием запорного вентиля путем вращения его против часовой стрелки. Через раструб газ подается на очаг пожара.

Также, около лаборатории расположены ящики с песком, который также является средством пожаротушения установок.

4.5 Электробезопасность

Действие электрического тока на организм человека проявляется в сложной многообразной форме и существенно отличается от других производственных травмирующих факторов. Поражения, вызванные электрическим током разделяются на внешние и внутренние.

К внутренним относятся электрические удары, при которых электроток поражает весь организм и, главным образом – нервную систему, что приводит к судорожному сокращению мышц, вследствие чего пальцы, если пострадавший держит провод в руках, так сильно сжимаются, что он не может самостоятельно отпустить провод из рук. Электроток поражает даже дыхательную систему.

Электрический ток может поражать через металлические предметы, которые человек держит в руках, при прикосновении их к источнику тока или предметам, находящимся под напряжением.

Для предотвращения данного поражения все электрические приборы находятся в изолирующей оболочке. Согласно ПУЭ все металлические части электроприборов заземлены, а сопротивление заземления в электроустановках до 1000 В не должно превышать 4 Ом.

Для безопасности работы в лаборатории предусмотрены следующие мероприятия по защите от поражения электрическим током:

- все установки отключаются общим рубильником, в котором имеются плавкие предохранители на случай короткого замыкания;
- соединительные провода экранируются и изолируются (ГОСТ 12.1.030–01);
- на установках наносятся предупреждающие надписи;
- при обнаружении опасности для себя и окружающих, следует немедленно выключить установку и предупредить руководителя работ об опасности.

Проведение работ разрешается только при полной исправности установки.

4.6 Мероприятия по защите от выявленных опасностей

Опасным фактором при выполнении исследования является нагретая поверхность печи. По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей не должна превышать 45 °С. Наиболее эффективный способ защиты от излучения – экранирование с помощью шамотного кирпича. В резуль-

тате температура наружных стенок печи не превышает 40 °С, что полностью исключает возможность термического ожога, уменьшает тепловое излучение.

Ещё одним вредным фактором является работа с мелкодисперсными порошками. В целях предупреждения попадания порошков в дыхательные пути мы используем меры индивидуальной защиты: халат, марлевую повязку и резиновые перчатки.

4.7 Охрана окружающей среды

В последнее время общественность очень беспокоит вопрос промышленной экологии, в основе которого лежит оценка степени вреда наносимого природе индустриализацией. Поэтому необходимо разрабатывать новые или усовершенствовать существующие инженерно – технические средства защиты окружающей среды, развевать безотходные и малоотходные технологические циклы и производства[22].

Во всем мире (включая РФ), с каждым годом уделяется все большее значение охране окружающей среды, это обусловлено резким возрастанием количеством вредных выбросов современной промышленности и транспорта, наносящих огромный, в большинстве случаев непоправимый ущерб биосфере.

Окружающая нас среда – характеризуется совокупностью факторов (физических, химических и биологических), способных при определенных условиях оказывать прямое или косвенное воздействие на деятельность и здоровье человека.

Наиболее эффективным мероприятием по защите окружающей среды являются совершенствование существующих и разработка новых технологических процессов, оборудования с целью максимального снижения массы, объема концентрации загрязнений.

Значимость разработки и осуществления мероприятий по охране окружающей среды обуславливает необходимость учета различных аспектов этой проблемы в стандартах Единой системы технологической подготовки произ–

водства технологии. Совершенствование технологических процессов и оборудования направлены на понижение или сведение к нулю вредных опасных отходов производства.

Необходимость охраны окружающей среды отражена в законодательстве государства. Поэтому совершенствование производства с экологической точки зрения просто необходимо. Активные методы борьбы с загрязнением окружающей среды могут осуществляться по следующим направлениям:

- минимизация отходов производства;
- замена не утилизированных отходов утилизируемыми отходами;
- замена токсичных отходов нетоксичными отходами;
- создание безотходной технологии на базе замкнутых технологических

процессов, при которых отходы каждого предыдущего процесса являются сырьем для последующего процесса.

Классификацию выбросов вредных веществ в атмосферу устанавливает ГОСТ 17.2.1.01–81. Согласно этому стандарту выбросы в воздушный бассейн в зависимости от состава вредных веществ (газо- и парообразные, жидкие, твердые, смешанные выбросы) и по массовому выбросу. В условиях производства керамических изделий наибольшее значение с точки зрения загрязнения воздушного бассейна имеют разнообразные пыли – взвешенные в воздухе частицы твердых веществ, образующиеся в процессах дробления и истирания, испарения с последующей конденсацией в твердые частицы, горения с образованием в воздухе твердых частиц – продуктов неполного сгорания топлива.

В организм человека вредные вещества могут поступать через дыхательные пути, пищеварительный тракт и кожный покров. Наибольшую опасность для здоровья человека представляет загрязнение атмосферы т. к. большое количество вредных веществ поступают через органы дыхания. Содержащиеся в воздухе вредные вещества поражают не только органы дыхания, но и органы зрения и обоняния.

Существуют параметры, ограничивающие загрязнение биосферы отходами производства, это предельно допустимые массовые концентрации (ПДК)

вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе или воде водоемов. Под ПДК понимается такая концентрация загрязняющего вещества, которая при ежедневном воздействии на организм человека в течение длительного времени не вызывает каких-либо патологических изменений или заболеваний, обнаруживаемых современными методами исследования. При установлении ПДК ориентируются на токсикологический показатель вредности или рефлекторную реакцию организма.

В настоящее время основным способом охраны воздушного бассейна от загрязнений, является очистка загрязненного воздуха и отходящих газов, образующихся при технологических процессах и выбрасываемых в атмосферу, от содержащихся в них вредных твердых, жидких и газообразных примесей. Применяется во всех случаях, когда использование активных методов пока невозможно или экономически нецелесообразно.

При внедрении результатов данной научно-исследовательской работы в производство, загрязнение окружающей среды происходит в основном за счет загрязнения воздуха пылью порошков. При производстве данных материалов на предприятии, количество пыли несоизмеримо больше, чем при исследованиях. При этом наибольшую опасность представляет мелкодисперсионная пыль, она не оседает в воздухе производственных помещений, находится во взвешенном состоянии и легко проникает в легкие человека, при этом может вызывать глазные и кожные заболевания, болезни верхних дыхательных путей и легких. В связи с этим, на производстве необходимо устанавливать пылеулавливатели для очистки воздуха от пыли. Это оборудование должно обеспечивать высокую степень очистки воздуха, по возможности, не занимать больших площадей, быть простым по конструкции, экономичным, не создавать повышенного шума, обеспечивать хорошие санитарные условия. Наиболее приемлемым аппаратом для очистки воздуха на предприятии является «циклон», он обладает высокой степенью очистки ($\eta = 90 - 95 \%$), имеет небольшие габариты, прост в эксплуатации и экономичен.

5 Экономическая часть

Данная научно-исследовательская работа направлена на исследование процессов получения стеновых керамических материалов (кирпича) с заменой части дорогостоящего глинистого сырья на отходы алюминиевого производства.

В экономической части выпускной квалификационной работы проведен расчет затрат на ее выполнение. Произведен сравнительный экономический расчет производства керамического кирпича на предприятии ООО "Сибирский элемент" по традиционной технологии и производства керамического кирпича с добавлением отходов алюминиевого производства.

5.1 Смета затрат на выполнение работы

Смета затрат на проведение научно-исследовательской работы дает общий свод всех расходов, связанных с проведением данной работы. Смета затрат включает следующие элементы:

- материальные расходы;
- расходы на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- суммы начисленной амортизации;
- прочие расходы.

5.1.1 Материальные расходы

Количество материальных расходов приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Материальные расходы

Материал	Количество	Цена, руб/кг	Стоимость, руб.
Отход шламового поля, кг	0,6	0,5	0,3
Глина контаатская, кг	0,9	2	1,8
Глина кубековская, кг	4,5	1,5	6,75
Спирт, л	0,1	110	11
Вата, упаковка	0,5	18	9
Пипетка медицинская, шт	1	3	3
Перчатки медицинские, пар	6	6	36
Маска, шт	6	3	18
Итого			85,85

Затраты на электроэнергию C_3 , определяем по формуле (5.1).

$$C_3 = M \cdot T_{\phi} \cdot K_m \cdot K_t \cdot C_3, \quad (5.1)$$

где M – суммарно установленная мощность оборудования, кВт/час;

T_{ϕ} – фактически отработанное студентом время на этом оборудовании, час;

K_m , K_t – коэффициенты использования оборудования по мощности и времени соответственно, доли ед. ($K_m = 0,8$; $K_t = 0,8$);

C_3 – цена за 1кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч.

Данные о энергетических затратах приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Энергетические затраты

Наименование оборудования	Мощность кВт	T_{ϕ} , ч	Цена 1 кВт, руб	Стоимость, руб
Дробилка щековая ШД 6	1,1	10	3	21,12
Кольцевая мельница ROCKLABS	1,1	3	3	6,336
Весы RV214 весы ОНАУС	0,015	50	3	1,44

Окончание таблицы 5.2

Пресс механический	1,2	25	3	57,6
Печь муфельная SNOL 30/1300	4,6	300	3	2649,6
Весы лабораторные VIBRA АН-220 CE	0,015	45	3	1,296
Вибропривод ВПТ 220	0,5	4	3	3,84
Итого				2741,232

Всего МР=85,85+2741,232=2827,082 руб.

5.1.2 Расходы на оплату труда

При составлении сметы затрат учитывается заработная плата научного руководителя, консультантов по экономике и охране труда в расчете на одного дипломника и стипендию дипломника

Зарботная плата определяется по формуле

$$ЗП = (a \cdot 12 / T) \cdot \tau \quad (5.2)$$

где а – месячный оклад, руб.;

Т – плановый фонд рабочего времени (1540 ч);

τ – количество часов, затраченных на работу с дипломником.

Зарботная плата научного руководителя:

$$ЗП_{\text{нр}} = (27000 \cdot 12 / 1540) \cdot 18 = 3787,01 \text{ руб.}$$

Зарботная плата консультанта по экономике:

$$ЗП_{кэ} = (22000 \cdot 12 / 1540) \cdot 2 = 342,86 \text{ руб.}$$

Заработная плата консультанта по охране труда:

$$ЗП_{кот} = (22000 \cdot 12 / 1540) \cdot 2 = 342,86 \text{ руб.}$$

Данные о расходах на оплату труда приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расходы на оплату труда

Сотрудник	Месячный оклад, тыс.руб.	Количество часов, затраченных на работу с дипломником	Сумма, руб.
Исполнитель	2,5	–	2,5
Научный руководитель	27	18	3787,01
Консультант по экономике	22	2	342,86
Консультант по охране труда	22	2	342,86
Итого			4475,23

5.1.3 Отчисление на социальные нужды

Отчисления на социальное страхование 30% от суммы оплаты труда:

$$K_c = 4475,23 \cdot 0,3 = 1342,57 \text{ руб.}$$

5.1.4 Суммы начисленной амортизации

Расходы, связанные с использованием оборудования, определяются по формуле

$$A = \frac{c \cdot H_a}{8760} \cdot \tau \quad (5.3)$$

где С – первоначальная стоимость оборудования, руб.;

H_a – норма амортизации, %;

τ – число часов работы оборудования, ч;

8760 – календарный фонд рабочего времени.

Данные о суммах начисленной амортизации приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Суммы начисленной амортизации

Наименование оборудования	Количество, шт	H_a , %	τ , ч	С, тыс. руб	Общая сумма, руб
Дробилка щековая ЩД 6	1	8	10	100	913,24
Кольцевая мельница ROCKLABS	1	8	3	500	1369,9
Весы RV214 весы OHAUS	1	7	50	54,6	2181,5
Пресс механический	1	10	25	10	285,4
Печь муфельная SNOL 30/1300	1	10	300	83,2	28493,2
Весы лабораторные VIBRA АЛН-220 СЕ	1	7	45	62,3	2240,2
Вибропривод ВПТ 220	1	10	4	27,5	125,6
Итого					35609,04

5.1.5 Прочие расходы

Полная смета затрат на выполнение данной научно-исследовательской работы приведена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Смета затрат

Статьи расходов	Сумма затрат, руб.
Материальные расходы	2827,082
Расходы на оплату труда	4475,23
Отчисления на социальные нужды	1342,57
Суммы начисленной амортизации	35609,04
Прочие расходы	11063,48
Итого	55317,402

Прочие расходы принимаются в размере 25% от учтенной суммы затрат на данную работу.

$$ПР=44253,922 \cdot 0,25=11063,48 \text{ руб.}$$

5.2 Оценка экономической эффективности результатов работы

В данной работе целью является выявление оптимальных технологических параметров для получения керамического кирпича с использованием техногенных отходов алюминиевого производства.

Существующая технология керамических строительных материалов, применяемых для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений, базируется в значительной мере на использовании качественного привозного сырья (светложгущиеся глины, перлит, нефелиновый сиенит и др.). Но запасы разрабатываемых месторождений сырья для керамической отрасли промышленности ограничены, что обуславливает возрастающую дефицитность традиционного сырья. Ежегодное накопление значительного количества отходов различных

отраслей промышленности, возможность интенсификации технологических процессов, повышения эксплуатационных свойств материалов, получаемых с применением отходов, обуславливает керамическую промышленность как отрасль, для которой вопросы ресурсосбережения являются особо актуальными.

В этих условиях исследования возможности получения кирпичей из отходов и их привлечение в качестве сырья, одновременно будет решаться задачи утилизации отходов, загрязняющих окружающую среду и замены части глинистого сырья в керамической массе на отходы алюминиевого производства.

Рассчитаем экономический эффект от замены части суглинка Кубековского месторождения на смешанные отходы шламового поля по формуле

$$\mathcal{E}_3 = C_2 - C_1, \quad (5.4)$$

где C_2 – стоимость суглинка Кубековского месторождения, руб;

C_1 – стоимость отхода, руб;

Для сравнения был проведен расчет замены суглинка Кубековского месторождения (вариант 1) на отход шламового поля (вариант 2) на примере получения рядового кирпича красноярского кирпичного завода ООО «Сибирский элемент». Проектная мощность этого завода 48 млн. шт. в год. Расход основного глинистого сырья был принят условно на 1000 шт. 2,5 т. Согласно проведенным исследованиям установили оптимальное содержание отходов шламового поля в керамической массе равное 20 масс.%. При расчете затрат, цены на сырье и добавки включают в себя расходы на транспортировку и загрузку. Показатели по сравниваемым вариантам приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Сравнение показателей по вариантам

Элементы затрат	1 вариант			2 вариант		
	Годовой расход, тыс. т	Цена, руб/кг	Сумма, млн. руб	Годовой расход, тыс. т.	Цена, руб/кг	Сумма, млн. руб
Сырье						
Глинистое сырье	120	3	360	96	3	288
Отход шламового поля	–	–	–	24	1	24
Итого	120		360	120		288

В соответствии с таблицей 5.6 можно сделать вывод, что замена угля отходом алюминиевого завода позволит сократить затраты на сырье.

Экономия на сырье: $\Delta C_c = 360 - 288 = 72$ млн. руб./год.

Использование отходов шламового поля позволяет повысить физико-механические показатели готовой продукции, а именно: введение 20 масс.% позволяет повысить прочность образцов при сжатии от 20 до 22 МПа. Соответственно это позволит получать кирпич более высокой марки – М200. Произведем расчет увеличения полученной прибыли с учетом производительности завода от повышения марки выпускаемой продукции. Показатели по сравниваемым вариантам приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Сравнение показателей по вариантам

Продукция	Марка М 150			Марка М 200		
	Кол-во, млн. шт	Цена, руб/шт	Сумма, млн. руб	Кол-во, млн. шт.	Цена, руб/шт	Сумма, млн. руб
Кирпич	48	11,45	549,6	48	12,05	578,4

Прибыль от замены марочности : $\Delta C_c = 578,4 - 549,6 = 28$ млн. руб./год.

В результате проведенного сравнительного анализа вариантов производства керамического кирпича на предприятии ООО "Сибирский элемент" по традиционной технологии и технологии с использованием отходов шламового поля установили, что использование отходов шламового поля позволит сэкономить 72 млн. руб. на основном сырье, а также получить дополнительную прибыль в размере 28 млн. руб. от повышения марки готовой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный патентно-информационный поиск позволил установить принципиальную возможность использования отходов алюминиевого производства в технологии строительных керамических материалов. Из расчета динамики патентования установили, что потребительские свойства (прочность при сжатии и морозостойкость) керамических материалов улучшаются с применением отходов алюминиевого производства.

2. Проведенный химический и минералогический анализ показал наличие фтористых соединений (криолит, хеалит) во всех исследуемых отходах, при этом максимальное количество фтористых солей, до 17 масс.%, содержится в смешанных отходах шламового поля. При этом содержание углерода в отработанной угольной футеровке и смешанных отходах шламового поля составляет 67 и 51 масс.% соответственно.

3. Установлено, что при увеличении содержания отходов алюминиевого производства, наблюдается общая тенденция уменьшения линейной воздушной усадки керамической массы, за счет уменьшения усадочных явлений в процессе сушки. Наибольший отощающий эффект достигается при введении отработанной шамотной футеровки. Линейная воздушная усадка керамических масс содержащих 25 масс.% данного вида отходов не превышает 2,5%.

4. Анализ полученных результатов показал, что использование смешанных отходов шламового поля позволяет достичь наименьшего значения водопоглощения (8,5%) и наибольшего значения кажущейся плотности образцов ($1,89 \text{ г/см}^3$) при содержании отхода 25 масс.%. Полученный эффект достигается за счет комплексного воздействия компонентов отхода на процессы спекания с образованием полезных кристаллических фаз, в частности анортита до 71 масс.%.

5. Максимальные значения прочности керамических образцов 30 МПа достигается при введении 25 масс.% отработанной шамотной футеровки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов, А. Н. Переработка твердых фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства / А. Н. Баранов, Л. В. Гавриленко, А. В. Моренко // Системы. Методы. Технологии. – 2011. № 10. – С. 113-115.
2. Борисоглебский, Ю. В. Metallургия алюминия: Учебное пособие / Ю. В. Борисоглебский, Г. В. Галевский. – Новосибирск: Наука, 1999. – 438 с.
3. Букин В.И. Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы: учебное пособие для вузов / В. И. Букин, М. С. Игумнов. – М.: Деловая столица, 2002. – 224 с.
4. Бурученко, А. Е. Строительная керамика с использованием суглинков и отходов алюминиевого производства / А. Е. Бурученко, С.И. Мушарапова // Строительные материалы. – 2010. № 12. – С. 28-33.
5. Верещагин, В. И. Влияние дисперсности непластичных компонентов керамических масс на спекание и свойства строительной керамики / В. И. Верещагин, В. К. Меньшикова, А. Е. Бурченко // Строительные материалы. – 2015. № 8. – С. 64-67.
6. Верещагин, В.И. Расширение сырьевой базы для строительной керамики / В.И. Верещагин, В.И. Кашук, Р.А. Назиров и др. // Строительные материалы. М.: ООО РИФ «Стройматериалы». - 2004. –№2 (590). – С. 39–42.
7. Волочко, А. Т. Влияние активных спекающих добавок на формирование свойств фосфоросодержащей алюмосиликатной керамики / А. Т. Волочко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2015. № 7. – С. 50-56.
8. ГОСТ 530–2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – Введ. 01.07.2013. – ТК 465 "Строительство", 2013 – 45 с.
9. 16. ГОСТ 7025–91 Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – Введ. 01.07.1991. – Научно-исследовательский институт строительной физики Госстроя СССР, 1991 – 16 с.

10. Гузман, И. Я. Химическая технология керамики: учеб. пособие для вузов / И. Я. Гузман. – М.: Стройматериалы, 2003. – 496 с.
11. Жарменов, А. А. Отходы: пути минимизации и предотвращения: сборник докладов / А. А. Жарменов. – Алматы, 2002. – 132 с.
12. Еромасов, Р.Г. Утилизация отходов алюминиевого производства в керамической промышленности / Р.Г. Еромасов, Э.М. Никифорова, Ю.Е. Спектор // Журнал Сибирского федерального университета. – 2012. – С. 442–452.
13. Кара-Сал, Б.К. Повышение качества кирпича комбинированием составов глинистых пород. / Б.К. Кара-Сал, Н.М. Биче–Оол // Строительные материалы. –М.: ООО РИФ «Стройматериалы». 2006. – №2. – С. 54–55.
14. Кашеев, И. Д. Химическая технология огнеупоров: учебное пособие / И. Д. Кашеев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 752 с.
15. Кондратенко, В.А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико–химических свойств и технологических параметров производства / В.А. Кондратенко. – М.: Композит. – 2005. – 512 с.
16. Лысенко, Е.И. Современные отделочные и облицовочные материалы / Е.И. Лысенко, Л.В. Котлярова, Г.А. Ткаченко, И.В. Трищенко, А.Н. Юндин. // – Учебно-справочное пособие под общей редакцией проф. А.Н. Юндина Издательство «Феникс», 2003.
17. Кравцова, Е.Д. Статистическая обработка и планирование инженерных экспериментов / Е.Д. Кравцова, Э.М. Никифорова. – Красноярск: СФУ ИЦМиЗ, 2007. – 163с.
18. Куликов, Б. П. Утилизация фторсодержащих отходов алюминиевого производства в цементной промышленности / Б. П. Куликов, В. В. Баринов, М. Д. Николаев // Экология и промышленность России. – 2010. № 5. – С. 5-6.
19. Леонтьев, Л. И. Переработка и утилизация техногенных отходов металлургического производства / Л. И. Леонтьев, В. И. Пономарев // Экология и промышленность России. – 2016. № 3. – С. 24-27. Лохова, Н. А. Влияние шламового отхода алюминиевого производства на структурообразование глино-

кремнеземистого керамического материала / Н. А. Лохова, И. А. Макарова, А. Л. Макарова // Системы. Методы. Технологии. – 2013. № 4(20). – С. 109-113.

20. Матренин, С. В. Техническая керамика: учебное пособие / С. В. Матренин, А. И. Слосман. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 75 с.

21. Мороз, И. И. Технология строительной керамики: учебное пособие / И. И. Мороз. – Киев, 1972. – 416 с.

22. Никифорова, Э. М. Минерализаторы в керамической промышленности / Э. М. Никифорова. – Красноярск : ГУЦМиЗ, 2004. – 108 с.

23. Основин, В.Н. Справочник по строительным материалам и изделиям. / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Д.С. Дубяго. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. 443 с.

24. Пат. 2098499 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 7/00, С 25 С 3/06. Способ переработки шлама газоочистки производства первичного алюминия / А.Г. Аншиц, В.И. Савинов ; заявители и патентообладатели. – № 95112779/02; заявл. 25.07.1995; опубл. 10.12.1997. – 3 с.

25. Пат. 2167210 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 7/00, С 01 F 7/38. Способ переработки углеродистого шлама, выводимого из системы электрического получения алюминия / В.В. Барановский, А.В. Барановский АОО «Всероссийский алюминиевый–мигниевый институт»; заявители и патентообладатели. – № 99115190/02; заявл. 13.07.1999; опубл. 20.05.2001. – 3 с.

26. Пат. 2393241 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 7/00 С 04 В 7/42. Способ переработки мелкодисперсных натрий–фтор–углеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия / Б. П. Куликов, М. Д. Николаев, ООО Торговый дом «Байкальский алюминий»; заявители и патентообладатели. – № 2009106409/02; заявл. 24.02.2009; опубл. 27.06.2010. – 9 с.

27. Пат. 2412129 Российская Федерация МПК С 04 В 33/132 , Сырьевая смесь для производства керамической облицовочной плитки / Э. М. Никифорова, А. И. Никифоров, Р. Г. Еромасов ; патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образова-

ния «Сибирский федеральный университет» – № 2009127913/03 ; заявл. 20.07.2009 ; опубл. 20.02.2011 – 3с.

28. Пат. 2199488 Российская Федерация, МПК⁷ С 01 F 7/38, С 22 В 7/00, Способ переработки отработанной угольной футеровки алюминиевых электролизеров / Барановский В.В., Барановский А.В., Ланкин В. П., Кононов М. П., Липинский Л. П., Богомолов А. Н., Тесля В. Г.; заявитель и патенто–обладатель Открытое акционерное общество «Волгоградский алюминий», Акционерное общество открытого типа «Всероссийский алюминиево–магниевый институт» – № 2000130110/12 ; заявл. 30.11.2000 ; опубл. 27.02.2003 – 2с.

29. Пат. 2171853 Российская Федерация, МПК⁷ С 22 В 7/00, С 01 F 7/38, Способ переработки отработанной угольной футеровки алюминиевых электролизеров / Барановский В. В., Барановский А. В., заявитель и патенто–обладатель Акционерное общество открытого типа «Всероссийский алюминиево–магниевый институт» – № 99109488/12 ; заявл. 11.05.1999; опубл. 10.08.2001 – 2с.

30. Петлин, И. В. Пути переработки и утилизации фторсодержащих отходов алюминиевой промышленности / И. В. Петлин, М. С. Лесникова // Актуальная биотехнология. – 2015. № 1(12). – С. 43-46.

31. Рязанов, С. А. О комплексной переработке алюминиевых шлаков / С. А. Рязанов // Литейщик России. – 2010. № 7. – С. 43-45.

32. Ремизникова, В. И. Физико-химические основы строительной керамики: учебное пособие / В. И. Ремизникова, О. В. Спирина. – Казань: КГАСУ, 2006. – 85 с.

33. Рыщенко, М.И. Термостойкие малоусадочные и морозостойкие керамические строительные материалы.: Автореф. дисс. д–ра техн. наук. – Харьков. 1983. – 43 с.

34. Семенов, А.А. Текущее состояние и тенденции развития промышленности строительных материалов / А.А. Семенов // Строительные материалы: ежемесячный научно – технический и производственный журнал / Отрасль в современных условиях. – 2013. – № 2. – С. 9 – 12.

35. Солодкий, Н.Ф. Сырьевые материалы и пути повышения эффективности производства строительной керамики / Н.Ф. Солодкий, А.С. Шамриков. // «Стекло и керамика», 2009, № 1. С 22 – 24.
36. Станевич, В. Т. Строительная керамика: учебное пособие / В. Т. Станевич. – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2008. – 196 с.
37. Харук, Г. Н. Влияние отходов цветной промышленности на физико-химические процессы, протекающие в керамике при нагревании / Г. Н. Харук, А. Е. Бурученко // Научные труды SWORLD. – 2012. № 3. – С. 85-88.
38. Эваис, Э. М. Использование алюминиевого шлама и алюминиевого шлака (окаины) для изготовления глиноземистого цемента / Э. М. Эваис, Й. М. З. Ахмед, Н. М. Халил, М. С. Амин // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. № 10. – С. 61-69
39. Электронный ресурс, ООО "Русал" URL: <http://sr.rusal.ru/environmental-protection/waste.php>. – 2016.
40. Alves, H. Structural study of mullite based ceramics derived from a mica-rich kaolin waste / H. Alves, R. Junior, L. Campos // *Ceramics International*. – 2017. № 43. – P. 3919-3922.
41. Boltakova N. V. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics / N. V. Boltakova, G. R. Faseeva, R. R. Kabirov // *Waste Management*. – 2017. № 60. – P. 230-246.
42. Brown, I., Wu, J., Nelson, M., Bowden, M. & Kemmitt, T. (2010) Hydrogen Separation Membranes from Nanostructured Alumina Ceramics Pp 1-16 in “Nanostructured Materials and Systems”: *Ceramic Transactions of the American Ceramic Society*, Volume 214, Eds Sanjay Mathur & Hao Shen, ISBN: 978-0-470-88128-6, 168 pages, July 2010.
43. Colonetti, E. Chemically-bonded phosphate ceramics obtained from aluminum anodizing waste for use as coatings / E. Colonetti, E. Kammer // *Ceramics International*. – 2014. № 40. – P. 14431–14438.
44. El-Amir, Ahmed A.M. Nano-alumina powders/ceramics derived from aluminum foil waste at low temperature for various industrial applications / Ahmed

A. M. El-Amir, Emad M.M. Ewais, Ahmed R. Abdel-Aziem // Journal of Environmental Management. – 2016. № 183. – P. 121-125.

45. Herrmann H.J., R. Mahmoodi Baram, M. Wackenhut Polydisperse Packings, Brazilian Journal of Physics, vol. 33, no. 3, September, 2003, 591-593 p.

46. Hua, K. Effects of AlF₃ and MoO₃ on properties of Mullite whisker reinforced porous ceramics fabricated from construction waste / K. Hua, X. Xi, K. Zhao // Ceramics International. – 2016. № 42. – P. 17179-17184. Liu, S. Sintering red mud based imitative ceramic bricks with CO₂ emissions below zero / S. Liu, X. Guan, S. Zhang // Materials Letters. – 2017. № 191. – P. 222-224.

47. Onutai, S. Aluminium hydroxide waste based geopolymer composed of fly ash for sustainable cement materials / S. Onutai, S. Jiemsirilers, P. Thavorniti // Construction and Building Materials. – 2015. № 101. – P. 298-308.

48. Romero-Hermida, I. New method for carbon dioxide mineralization based on phosphogypsum and aluminium-rich industrial wastes resulting in valuable carbonated by-products / I. Romero-Hermida, A. Santos, R. Perez-Lopez // Journal of CO₂ Utilization.– 2017. № 18. – P. 15-22.

49. Picart D. et al // Powder and Grains 2001: Proceedings of the Fourth International Conference on Micromechanics, ed. by Y. Kishino, Lisse, 2001, p. 15.

50. Shepelev, I.I. Chemical–Technological Features Of Resources-Saving Processes At Utilization Of Solid Metallurgical Wastes / I.I. Shepelev, N.N. Bochkov, Golovnykh N.V.// Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya. 2015, Vol. 58 Issue 1, p81-86. 6p.

51. Shi F., CERAMIC MATERIALS – PROGRESS IN MODERN CERAMICS / Feng Shi / Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia / – 2012 – 228 p.

52. Shefer H. E. Status report on bricks from fly ash, p. 195 – 201 Shefer H. E. Status report on bricks from fly ash, p. 195 – 201

53. Takashi Itoh, Yoshimoto Wanibe, Hiroshi Sakao/ Relation between Packing Density and Particle Size Distribution in Random Packing Models of Powders // J.of the Institute of Metals.-2001.-Vol.50.-№8.-pp.740-746.

54. Torquato S. Random Heterogeneous Materials: Microstructure and Macroscopic Properties, Springer, New York, 2002, 820 p.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

институт

Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий

кафедры



Шиманский А.Ф.

инициалы, фамилия

подпись

« ____ » _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование и разработка технологических режимов получения
строительных керамических материалов с использованием отходов алюминие-
вого производства

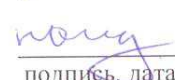
тема

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направления

22.04.01.03 Перспективные материалы и методы их исследования

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	<u>23.06.2017</u> должность, ученая степень	<u>Р. Г. Еромасов</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата	<u>23.06.2017</u> должность, ученая степень	<u>Н. В. Налетов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>науч. сотр. канд.хим.наук</u> должность, ученая степень	<u>С. А. Козлова</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2017