

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт физики высоких технологий
 Направление подготовки - химическая технология
 Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

УДК 678.5.067.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович		8.06.2016

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТСН	Лотов В.А.	Д.Т.Н.		8.06.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ИСГТ	Грахова Е.А.			18.06.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		13.05.16

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТСН	Погребенков В.М.	Д.Т.Н.		8.06.16

Томск – 2016 г.

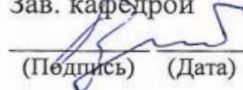
Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность) 18.04.01 Химическая технология
Профиль Химическая технология тугоплавких силикатных неметаллических материалов
Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 Погребенков В.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович

Тема работы:

Разработка технологии получения строительных изделий на основе золошлаковых отходов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.03.2015 №1880/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06. 2016 г.

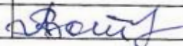
ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Анализ литературы и патентных источников; Материалы производственной практики; Сырьевые материалы для разработки связующего; Методы и методики исследования;
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Изучение влияния различных добавок на модифицирование жидкого стекла; Характеристика исходных сырьевых материалов. Методы и методики исследования. (рентгенофазовый, дифференциально-термический анализ); Определение прочностных характеристик. Определение оптимальных составов смеси на основе модифицированного жидкого стекла. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение; Социальная ответственность.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Рентгенофазовый и комплексно термический анализ материалов; дифференциально-термический анализ план эвакуации при пожарах и ЧС
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Грахова Е.А., ассистент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М., профессор кафедры ЭБЖ, д.т.н.
Часть на иностранном языке	Ажель Ю.П., старший преподаватель ИЯФТИ
Экспериментальная часть	Лотов В.А., профессор кафедры ТСН, д.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.11.2014 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лотов В.А.	д.т.н.		8.06.2016г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович		8.08.2016г

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт	Физики высоких технологий
Направление подготовки (специальность)	18.04.01 «Химическая технология»
Кафедра	Технология силикатов и наноматериалов
Уровень образования – магистр	
Период выполнения – осенний/весенний семестр	2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

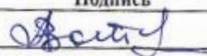
магистерская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2016 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.04.2016 г.	Основная часть	60
12.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
02.05.2016 г.	Социальная ответственность	15
24.05.2016 г.	Обязательное приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учёная степень	Подпись	Дата
Профессор	Лотов В.А.	д.т.н		8.06.2016г.

СОГЛАСОВАНО:

Зав. Кафедрой	ФИО	Учёная степень	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТСН	Погребенков В.М	д.т.н		8.06.16

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович

Институт	Физики высоких технологий	Кафедра	Технология силикатов и наноматериалов
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	При проведении исследования используется база лабораторий ТПУ кафедры ТСН; в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

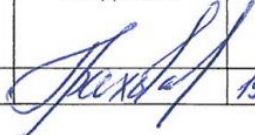
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение концепции проекта, анализ основных критериев сравнения, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Контрольные события проекта, определение трудоемкости выполнения работ, разработка графика проведения НИ, расчет материальных затрат НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка социальной и сравнительной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

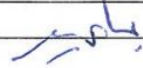
1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Диаграмма Исикава
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А.			19.04.2016.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович		19.04.2016

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ4Б	Осмонов Памирбек Амантурович

Институт	Институт Физики Высоких Технологий	Кафедра	Технологии силикатов и наноматериалов
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Химическая технология

Тема дипломной работы: Разработка технологии получения строительных изделий на основе золошлаковых отходов.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Целью данной работы является разработка оптимальных условий формования золокирпича
2. Описание рабочего места на предмет возникновения:
 - вредных проявлений факторов производственной среды
(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, исключить контакт с вредными, токсичными веществами, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум от мельниц и экструдера, вентиляции;
 - опасных проявлений факторов производственной среды
(в связи с присутствием электричества для питания электрических оборудования и освещенности лаборатории, наличии горючих и взрывоопасных газов необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности);
 - необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: бракованные образцы, пылевидных частиц, «черновые» листы бумаги, отработанные картриджи, принтеры и др. оргтехника;
 - необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, пурга, человеческий фактор, диверсия (рассмотреть минимум 2 ЧС – 1 природную, 1 техногенную).

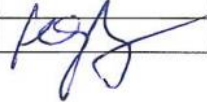
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;
 - б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);
 - в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;

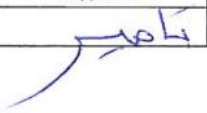
пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).
3. Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации, образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);
Перечень графического материала: 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н		10.03.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ4Б	Осмонов П.А.		10.03.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 113 стр., 16 рис., 20 табл., 84 источника, 1 прил.

Ключевые слова: жидкое стекло, зола, композиционный материал, прочностные характеристики, водостойкость, портландцемент, жидкостекольное связующее, кремнегель, гидросиликаты кальция.

Объектом исследования является: композиционный материал, полученный на основе модифицированного жидкого стекла с различными заполнителями.

Цель работы: исследование возможности получения изделий на основе модифицированного жидкого стекла и техногенных отходов.

Метод или методология проведения работы (исследования) и аппаратуру: (рентгенофазовый, дифференциально-термический анализ); определение прочностных характеристик, коэффициента размягчения. Определение оптимальных составов смеси на основе модифицированного жидкого стекла.

Полученные результаты: разработано новое вяжущее на основе жидкого стекла и гидроксида кальция.

В процессе исследования проводились: влияние гидроксида кальция на прочностные свойства жидкого стекла; определение оптимальной концентрации гидроксида кальция; исследование оптимальных составов полученной шихты.

В результате исследования было разработано модифицированное жидкостекольное вяжущее, на основе жидкостекольного вяжущего были получены композиционные материалы из техногенных отходов с оптимальными составами.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: получены данные об изменении реакционной способности гидроксида кальция, что обеспечивает синтез

натрий-кальциевый гидросиликат. Который решает главную проблему низкой водостойкости жидкого стекла, и расширяет возможность их использования.

Степень внедрения: лабораторные испытания

Область применения: строительство.

Экономическая эффективность/значимость работы: в результате введения гидроксида кальция в жидкое повышает прочностные характеристики и водостойкость композиционного материала, образуя натрий-кальциевые гидросиликаты.

В будущем планируется: внедрение композиционного материала в строительство виде золокирпичей .

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

Определения:

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Жидкое стекло – водный щелочной раствор силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ или калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$.

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путём совместного помола цементного клинкера, гипса и добавок, в составе которого преобладают силикаты кальция (70-80 %).

Зола – несгораемый остаток, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании.

Вязкость – характеристика величины сил трения, которая возникает при перемещении одного слоя жидкости относительно другого и численно равна силе, которую нужно приложить к системе, чтобы обеспечить определенную разность скоростей двух параллельных слоев жидкости, отстоящих друг от друга на определенном расстоянии.

Удельная поверхность – усредненная характеристика пористости или дисперсности соответствующих микропористых или тонкоизмельченных (диспергированных) твердых тел. Удельную пористость выражают отношением общей поверхности тела к его объему или массе.

Дисперсность – (от лат. dispersus – рассеянный, рассыпанный), характеристика размеров частиц в дисперсных системах. Дисперсность величина обратно пропорциональна среднему диаметру частиц и определяется удельной поверхностью, т. е. отношением общей поверхности частиц к единице объёма дисперсной фазы.

Композиционный материал – искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов с чёткой границей раздела между ними.

Обозначения и сокращения:

СССР – Союз Советских Социалистических Республик

БЭТ – Бруннауэр-Эммет-Тейлер

ПСХ – прибор Соминского-Ходакова

ДТА – дифференциально-термический анализ

РФА – рентгенофазовый анализ

ВПП – Вторичный продукт промышленности

ВМР – Вторичный минеральный ресурс

ПУЭ – правила устройства электроустановок

ОХВП – огнетушитель химический, воздушно-пенный

ОУ-2 – огнетушитель углекислотный, объем 2 литра

ОП-5 – огнетушитель порошковый, объем 5 литров

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости

ТЭС – Тепловая электрическая станция

ГРЭС- Государственная районная станция

Нормативные ссылки:

1. ГОСТ 12.0.003-74. «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
2. ГОСТ 12.1.005-88. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
3. СанПиН 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
4. ГОСТ 124021-75. «Системы вентиляции. Общие требования»
5. ГН 2.2.5.1313-03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
6. ГОСТ 12.1.003-88. «Шум. Общие требования безопасности»
7. СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение»
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009. «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

9. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 (ред. от 17.02.2014) «О противопожарном режиме» (вместе с "Правилами противопожарного режима в Российской Федерации")
10. ГОСТ Р 51057-2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования»
11. Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	16
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	17
1.1 Анализ проблемы вторичных продуктов промышленности	17
1.2 Анализ золы (и шлаков) ТЭС, ГРЭС.....	22
1.3 Производство вяжущих материалов на современном этапе	33
1.4 Методы получения промышленных жидких стекол	34
1.5 Цели и задачи работы	42
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	44
2.1 Рентгенофазовый анализ	44
2.2 Термические методы исследований	46
2.3 Методы исследований физико-механических свойств	47
2.4 Микроскопия и элементный анализ	48
2.5 Методики испытаний физико-механических характеристик экспериментальных образцов	48
3 ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	50
3.1 Характеристика сырьевых материалов.....	50
3.2 Компонентный состав и процессы взаимодействия жидкого стекла гидроксидом кальция.....	52
3.3 Метод изготовления экспериментальных образцов композиционных материалов	54
3.4 Компонентный состав и физико-химические характеристики композиционного камня на основе золы	55
3.5 Композиционные материалы на основе заполнителей с низкой насыпной плотностью	60
3.6 Технологическая схема композиционного материала	62
3.7. Технологическая схема производство золокирпича	63
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	65
4.1 Препроектный анализ	65
4.2 Планирование научного исследования	69
4.3 Бюджет научного исследования	76
4.4 Определение социальной и экономической эффективности исследования	81
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	84

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	84
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	93
5.3 Охрана окружающей среды	98
5.4 Защита в чрезвычайных случаях	99
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	101
ВЫВОДЫ	102
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А	114

ВВЕДЕНИЕ

Существующая проблема утилизации техногенных продуктов и отходов заводов по производству химического сырья выработки энергии обостряется с каждым годом. Для этих отходов отводятся лишние гектары земли для хранения. К примеру, Томская ГРЭС-2 за время своей работы организовала 2 золоотвала. Первый золоотвал - в 1973 году в долине реки Ушайки. К 2003 было насчитано около 450 тыс. тонн золошлака на территории в 35,8 га. Второй – в 1986 году в долине реки Малой Киргизки. К 2003 году было насчитано около 1251 тыс. тонн на 60,9 га.

Решение этой проблемы-это применение золы в строительной индустрии в качестве заполнителя. Основным вяжущим материалом является портландцемент, его широко применяют в различных строительных конструкциях, изделиях и сооружениях. Но его производство является очень материалоемким и энергозатратным. Производство портландцемента обладает экологической проблемой, которая, связана с выбросами в атмосферу углекислого газа [1]. Решение данной проблемы – это разработка нового, недорогого и экологически чистого вяжущего материала. Этим материалом является жидкое стекло, обладающее вяжущими свойствами. Но область использования жидкого стекла ограничена, потому что, изделия на его основе обладают низкой водостойкостью.

Одним из способов решения проблемы низкой водостойкости жидкого стекла, является его модифицирование путем введения различных добавок. По доступности и эффективности использования, на первом месте стоят кальцийсодержащие вещества. В настоящее время проводятся работы, посвященные решению задач модифицирования жидких стекол с кальцийсодержащими добавками [2, 3]. В данной работе приведены результаты исследований по использованию жидкостекольного связующего при утилизации техногенных отходов.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Анализ проблемы вторичных продуктов промышленности

Под вторичными продуктами промышленности (ВПП) или вторичными минеральными ресурсами (ВМР) обычно понимают многотоннажные техногенные отходы [4]. Этот давно устоявшийся общепринятый термин нельзя считать корректным. Так, выдающийся ученый-металлург академик АН СССР И.П. Бардин в своих трудах писал: «...металлургические шлаки – не отходы, а ценный строительный материал». В зарубежной практике термин «отходы» (англ. wastes) используют применительно только к бытовым отходам, а термин «вторичные продукты» (англ. by-products) – применительно к таким материалам, как металлургические шлаки, золы и шлаки ТЭС и т.п.

В 1996 году Указом Президента РФ утверждена концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию и приняты целевая программа «Отходы», Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», Федеральный закон «О государственной экологической экспертизе». Вместе с тем загрязнение окружающей среды продолжает оставаться одной из актуальнейших проблем нашей страны:

- на свалках, полигонах и в хранилищах скопились миллиарды тонн отходов, из которых более 5% токсичные;
- ежегодно для складирования твердых вторичных продуктов промышленных предприятий выделяется более 2 тыс. га земельных площадей, пригодных для нужд сельского хозяйства и необходимых для развития жилищного строительства;
- из 1037 городов только 19% имеют благополучную или удовлетворительную экологическую обстановку;
- по разным источникам, утилизируется только от 5 до 10% общего объема промышленных отходов.

В январе 2008 года при рассмотрении этой проблемы на заседании Совета безопасности РФ по вопросам экологии Президент РФ Д.А. Медведев предложил создать в стране новую отрасль индустрии – отходоперерабатывающую. Актуальность этого предложения очевидна не только с позиций решения экологической проблемы, но и также:

- с позиции обеспечения сырьевыми ресурсами строительной индустрии, которая потребляет до 50% общего объема добываемых природных ресурсов и на которую в структуре грузоперевозок приходится не менее 25%; следует учитывать, что износ активной части основных фондов горных предприятий страны составляет 70%, а в производстве нерудных строительных материалов он еще выше; кроме того, во всем мире наблюдается прогрессирующий рост цен на природную минеральную продукцию, например, по данным Росстата, цены на щебень из плотных горных пород выросли за период с 2006 по 2011 год почти на 100%; наконец, известно, что запасы природных ресурсов не беспредельны и многие из них находятся на грани истощения;

- с позиции необходимости сбережения энергетических ресурсов, что заставляет вести поиск аналогов традиционных строительных материалов (таких, например, как портландцемент), но существенно менее энергоемких, основой которых являются низкоэнергоемкие продукты переработки ВПП;

- с позиции решения задачи освобождения огромных земельных площадей, занятых отвалами (особенно это относится к накопленным отвалам золошлаков ТЭС и ГРЭС), объем которых составляет почти 2 млрд т, из-за чего ситуация в энергетике приближается к критической, то есть если не начать интенсивную разработку отвалов одновременно с полной переработкой и утилизацией золошлаков текущего выхода, то, по оценкам специалистов-энергетиков, многие ТЭС и ГРЭС придется закрывать максимум через 5-10 лет. В процессе горения топлива при высоких температурах содержащаяся в нем минеральная часть претерпевает глубокие химические и физико-химические преобразования с увеличением энергетического потенциала, что

предопределяет их повышенную химическую активность по сравнению с материалами, не прошедшими термической обработки. В это время протекают такие процессы, как испарение гигроскопической влаги, дегидратация водных минералов, декарбонизация и аморфизация некоторых компонентов и т.п. со значительным поглощением тепловой энергии. Эти процессы на треть, а в ряде случаев и более снижают топливно-энергетические затраты при последующем использовании полученных зол и шлаков в производстве строительных материалов и изделий, а также в строительной индустрии. Наличие же в золах и шлаках некоторого количества остатков топлива (3-15% по массе) предопределяет их особую экономическую эффективность по сравнению с природным сырьем при применении в производстве обжиговых строительных материалов.

Необходимость полного использования зол и шлаков диктуется различными экономическими предпосылками и особо важными природоохранными требованиями, первые из которых появились в СССР («Основы законодательства Союза ССР и Союзных республик о недрах», «Закон СССР об охране атмосферного воздуха»). Всемерное использование зол и шлаков в строительстве непосредственно способствует охране недр, резко ограничивая потребность в природном сырье.

Сложившаяся практика удаления смесей зол и шлаков с электростанций почти исключительно гидравлическим способом в золохранилища и отвалы сопряжена со значительными денежными и материальными затратами. Одновременно такой способ удаления отходов крайне неблагоприятно отражается на однородности смесей по их физическому, химическому, зерновому составу и содержанию несгоревших частиц топлива даже на небольших смежных участках отвалов. Это очень осложняет возможности использования зол и шлаков в производстве различных материалов и изделий и в строительстве в целом. Поэтому неотложной задачей является организация на всех ТЭС сухого способа отбора от котельных установок отдельно шлаков и зол.

Господствующий почти на всех ТЭС мокрый способ золоудаления сохраняется до сих пор, что обязывает осуществлять мероприятия по использованию золошлаковых смесей из отвалов. В этом направлении накоплен значительный опыт. В 30-х, 40-х годах 20-го века и позднее известково-золошлаковые вяжущие иногда с добавкой цемента для изготовления растворов, бетонов и строительных изделий применялись в Донбассе, Московском угольном бассейне, Кузбассе, на Урале. Так, трестом Уралалюминстрой по инициативе А.М. Кораблинова и др. в середине 30-х годов, а также в годы войны при возведении жилых, а в ряде случаев и промышленных зданий были широко использованы бетоны на основе известково-золяного вяжущего.

В первую половину 80-х годов был накоплен большой продолжительный опыт применения отвальных золошлаковых смесей в Донбассе и Кузбассе. Тем не менее, объем использования зол и шлаков в строительстве на тот момент оставался незначительным – около 3% ежегодного их выхода.

При организации новых предприятий по производству строительных материалов в тех районах страны, где имеются золошлаковые отходы, они бесспорно должны использоваться вместо природного сырья. А.С. Болдыревым, В.И. Добужинским и Я.А. Рекитаром [5] составлена схема (рис. 1.1) использования золошлаков в стройиндустрии. Из зол и шлаков возможно производство почти всех строительных материалов, изделий и конструкций, необходимых при возведении жилых зданий, объектов промышленного, сельскохозяйственного назначения, гидротехнических, дорожных сооружений.

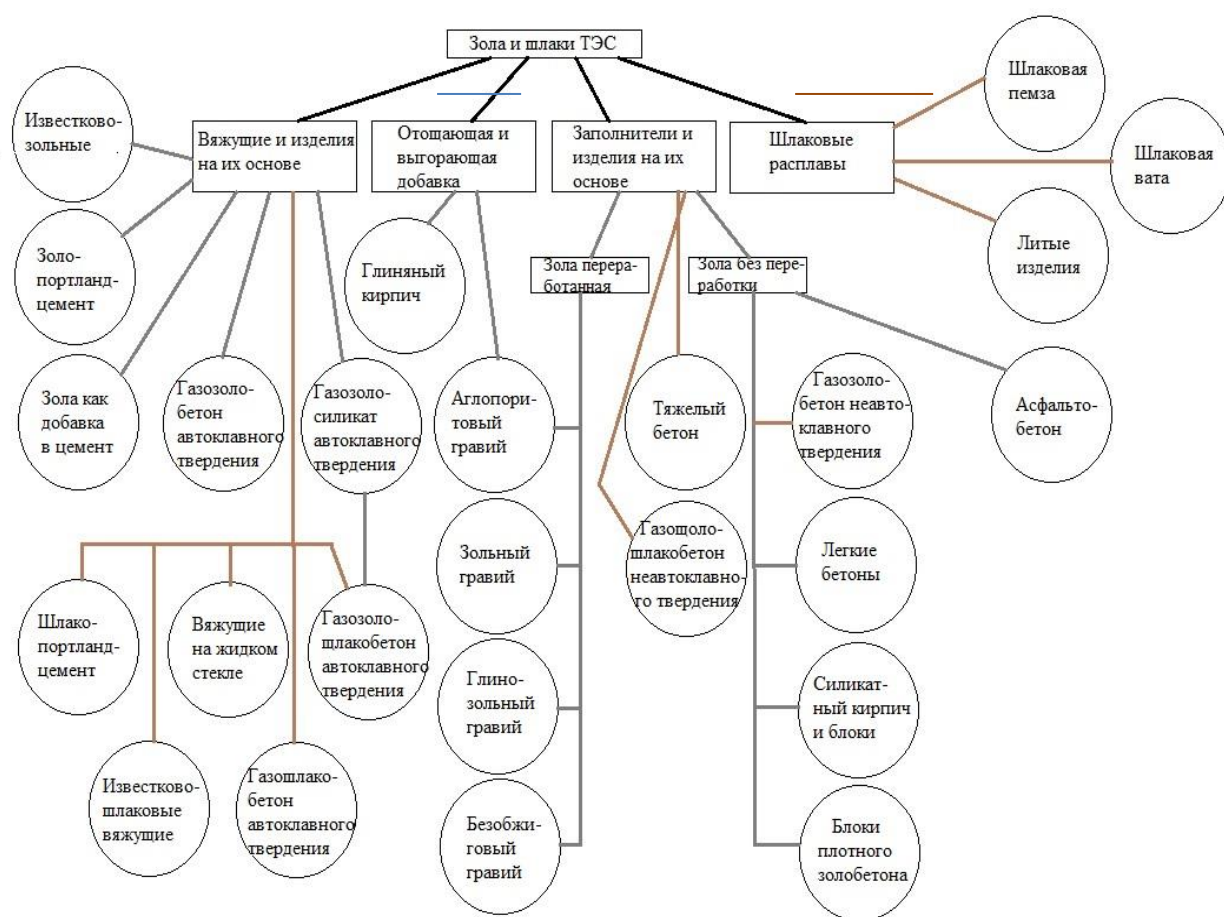


Рисунок 1.1 - Направления использования отходов ТЭС в промышленности строительных материалов (топливная зола; гранулированный шлак)

Перспектива использования отходов теплоэнергетики вышеуказанными авторами представляется в следующем виде. В непосредственной близости от ТЭС размещаются крупные комбинаты строительных материалов и изделий, в первую очередь, наиболее золоемких и транспортабельных, из которых особенное внимание привлекает портландцемент (при наличии вблизи известняковых месторождений), а также легкие пористые заполнители для изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Несомненно, перспективно производство и других материалов и изделий, в том числе и ячеистобетонных. В целом номенклатура должна определяться местными условиями и необходимостью полного использования всего выхода твердых отходов данной ТЭС, а в некоторой мере и горячих дымовых газов, содержащих огромное количество безвозвратно теряемой тепловой энергии.

1.2 Анализ золы (и шлаков) ТЭС, ГРЭС

1.2.1 Краткая характеристика зольной части важнейших видов твердого топлива

На тепловых электростанциях нашей страны используются многие виды топлива, однако основная масса зол и шлаков (96-97%) образуется при сжигании углей и горючих сланцев. Зольная часть присутствует в любом растении, но ее содержание, как правило, не превышает 1%. При захоронении отмерших растений происходит одновременное внесение в пласт зерен песка, частиц глины и других примесей. В процессе углефикации растительных остатков летучие удаляются и относительное содержание негорючей (зольной) части увеличивается. Одновременно в результате окисления органических соединений серы возникают минеральные новообразования в виде сульфидов железа и марганца. Важной причиной повышения зольности твердого топлива служит разубоживание угля и сланца при разработке месторождения – включение в добытую продукцию прослоек негорючих пород, находящихся внутри пласта угля, в его кровле и подошве.

Рядовое топливо, отгружаемое потребителям, представляет собой весьма неоднородный продукт. Одним из главных компонентов минеральной части углей и сланцев, определяющих возможности и условия практического применения топливных отходов, является оксид кальция карбонатных минералов (кальцита, доломита). По содержанию CaO можно выделить высококальциевые угли и сланцы, в минеральной части которых содержится более 10% CaO , и низкокальциевые угли с меньшим количеством CaO . К видам топлива с высококальциевой минеральной частью относятся угли Канско-Ачинского бассейна, бурые угли месторождений Украины и Урала (Богословское, Волчанское, Бабаевское), каменные угли некоторых месторождений Средней Азии (Ангренское) и Дальнего Востока (Райчихинское, Артемовское). Минеральная часть канско-ачинских углей содержит 20-40% CaO , остальные – 10-20% CaO . Преобладающее положение в

энергетическом твердом топливе занимают угли с низкокальциевой минеральной частью. Среди таких углей можно выделить донецкие каменные угли и антрациты, характеризующиеся наиболее высокожелезистой ($20-26\% \text{ FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) и легкоплавкой зольной частью. Несколько меньшее содержание оксидов железа ($10-20\%$) отмечается в минеральной части углей Печорского бассейна, Челябинского, Черемховского и некоторых других месторождений. Маложелезистая зольная часть присутствует в каменных углях Кузнецкого, Карагандинского, Экибастузского бассейнов, многих месторождений Урала, Восточной Сибири и Сахалина, а также бурых углях Подмосковского бассейна.

1.2.2 Свойства зол и шлаков ТЭС

Физические свойства. Гранулометрический состав пылевидных зол зависит от вида и условий подготовки исходного пылевидного топлива, температуры в камере и способа улавливания золы из отходящих газов. Как правило, при увеличении температуры факела уменьшается средний размер частиц золы. Большее значение имеет место отбора проб золы.

Более грубые частицы осаждаются в камере Соболева и в циклонах. Электрофильтры улавливают более тонкую золу. При этом возможно обогащение отбираемого материала теми или иными компонентами. Таким образом, наиболее мелкозернистые партии золы с максимальным содержанием стеклофазы могут быть получены в последних агрегатах схемы пылеулавливания (мультициклонах и электрофильтрах).

В табл. 1.1 приведены физические свойства средних проб пылевидных зол, отобранных на различных станциях.

Таблица 1.1 – Физические свойства пылевидных зол

Топливо	ТЭС	Истинная плотность , г/см ³	Насыпная плотность , кг/м ³	Удельная поверхность по Товарову, см ² /г	Водопотреб- ность, %
Донецкий уголь	Московская- 11	2,13	690	2850	55
	Мироновска	2,15	850	2700	56

	я				
Кузнецкий уголь	Московская-22	2,21	920	2500	54
	Казанская	2,19	830	1360	42
Подмосковный уголь	Ступинская	2,09	700	2800	60
Канско-Ачинский уголь	Назаровская	2,36	990	2300	58

Плотность частичек золы зависит в первую очередь от их химического состава и возрастает при повышении содержания CaO и $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ в них. Насыпная плотность увеличивается по мере оплавления минеральной части с переходом от пористых частиц аморфизованного глинистого вещества к плотной стеклофазе и продуктам ее кристаллизации, а водопотребность при этом уменьшается.

Топливные гранулированные шлаки характеризуются крупностью зерен менее 10-15 мм, истинной плотностью от 2,83 до 3,26 г/см³, насыпной плотностью от 1098 до 1315 кг/м³.

Термические свойства. При термической обработке топливных зол и шлаков в окислительной среде наблюдается последовательно идущие процессы, четко фиксируемые кривой ДТА.

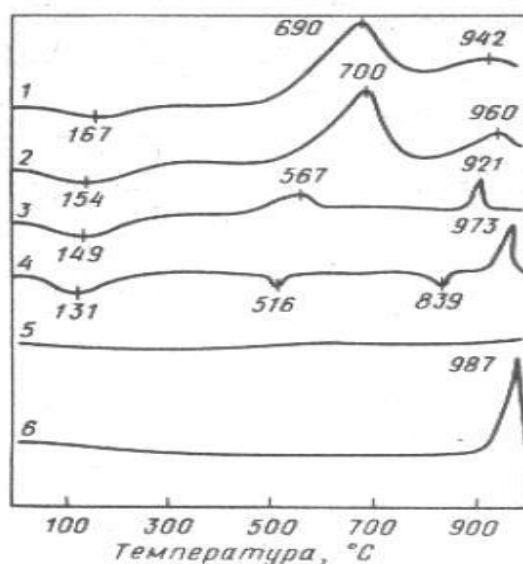


Рисунок 1.2 – Кривые ДТА пылевидных зол и гранулированных топливных шлаков

Как видно из рис. 1.2, все пылевидные золы в интервале 60-300°C теряют воду, адсорбированную развитой поверхностью частиц золы. Чем больше в золе аморфизованного глинистого вещества и ооксованных органических остатков, тем интенсивнее проявляется первый эндотермический эффект. Этот эффект становится более четким на термограмме канско-ачинской золы из-за появления в ней новой тонкодисперсной фазы – гидроксида кальция.

Дегидратация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ происходит при 516°C, диссоциация кальцита при 839°C (кривая 4). На кривых ДТА зол, содержащих невыгоревшие ооксованные органические остатки, присутствует экзотермический эффект с максимумом при температуре от 567°C (кривая 3) до 700°C (кривая 2). С увеличением количества ооксованной органики интенсивность этого эффекта растет и его максимум смещается в область более высоких температур.

Относительно небольшой экзотермический эффект с максимумом при 921-960°C на термограммах пылевидных зол (кривые 1-3) отражает твердофазовую кристаллизацию муллита в аморфизованном глинистом веществе и алюмосиликатной стеклофазе. Термограмма золы канско-ачинского угля (кривая 4) характеризуется более высокой температурой максимума последнего экзотермического эффекта и иным его происхождением – кристаллизацией стеклофазы геленитового состава. На кривой ДТА топливного граншлака, полученного при сжигании донецкого угля (кривая 5), термических эффектов нет. Ионы Fe^{2+} в условиях скоростного нагрева не окисляются. Кривая ДТА гранулированного шлака от сжигания канско-ачинского угля (кривая 6) отличается интенсивным экзотермическим эффектом с максимумом при 987°C, отражающим кристаллизацию геленита.

Высокотемпературные процессы включают размягчение зольных частиц, их контактное спекание, вспучивание и кристаллизацию при охлаждении. Следствие этих процессов является формирование структуры спекания. Общепринятое деление зол по плавкости предусматривает три их

группы: легкоплавкие, средней плавкости и тугоплавкие (табл. 1.2). Влияние частичного плавления на объемные изменения и свойства образцов из различных по плавкости зол при скоростном нагреве иллюстрирует график (рис. 1.3), построенный по данным С.Г. Василькова и др. [6].

Таблица 1.2 – Плавкость пылевидных зол в полувосстановительной газовой среде (ГОСТ 2057-68)

Группа зол	Плавкостные характеристики, °С		
	Температура начала деформации, t_1	Температура размягчения, t_2	Интервал размягчения, $t_2 - t_1$
Легкоплавкие	<1250	<1300	<50
Средней плавкости	<1300	<1400	>50
Тугоплавкие	>1300	>1400	>50

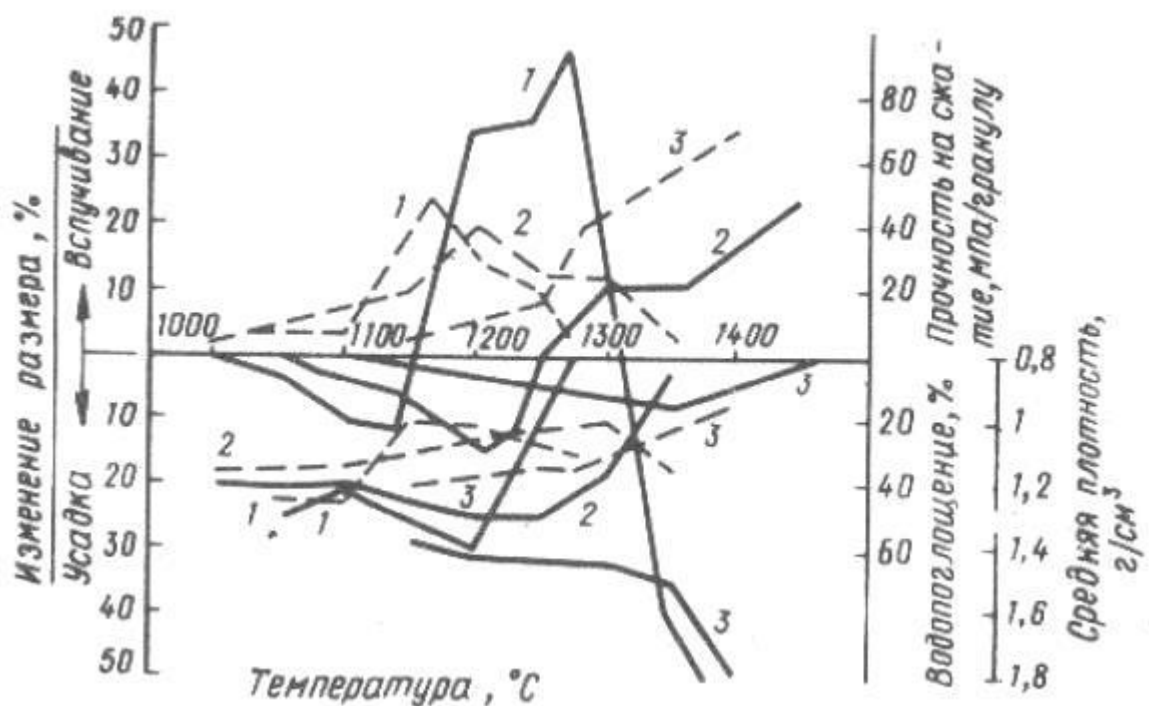


Рисунок 1.3 – Спекаемость пылевидных зол от сжигания кузнецкого (1), подмосковного (2) и экибастузского (3) углей (изменение линейного размера

образца и кажущейся его плотности; изменение предела прочности при сжатии и водопоглощение)

Легкоплавкие золы спекаются и дают значительную усадку при 1050-1140°C, после чего происходит вспучивание образцов с быстрым снижением их средней плотности. Максимум прочности и минимум водопоглощения образцов соответствует температуре 1150-1170°C, т.е. началу их вспучивания. Образцы из зол средней плавкости приобретают наибольшие прочность и среднюю плотность при 1200°C, когда фиксируется максимум усадки. В результате последующего вспучивания образца с увеличением его длины на 10-15% при 1300°C несколько снижается прочность и уменьшается водопоглощение. Последующий нагрев до 1350°C позволяет получить легкий материал со средней плотностью 0,85 г/см³ и прочностью единичных гранул в пределах 5-7 МПа. Тугоплавкие золы при обжиге до 1350-1400°C спекаются и образуют плотный черепок, имеющий высокую прочность. Вспучивание для таких зол нехарактерно.

Необходимо отметить, что за счет выгорания окислов органических включений в сердцевине образцов из пылевидных зол ТЭС создается восстановительная среда. Это обстоятельство является полезным при получении строительных материалов, так как восстановление трехвалентного железа до двухвалентного способствует возникновению легкоплавких эвтектических расплавов, что облегчает спекание и увеличивает вспучиваемость при скоростном обжиге. Однако недостаток кислорода внутри гранул может обусловить сохранение части окислов частиц и сажистого углерода.

Пуццоланическая активность определяется присутствием в составе зол и шлаков аморфных продуктов термической обработки кристаллических алюмосиликатов: дегидратированного глинистого вещества типа метакеолинита, сохранившего частичную упорядоченность кристаллической решетки; аморфных SiO₂ и Al₂O₃, возникающих при высокотемпературном обжиге глины; алюмосиликатных стекол, образующихся в ходе быстрого

охлаждения расплава зольной части топлива. При повышенных температуре и давлении водяного пара активность проявляют некоторые кристаллические компоненты зол и шлаков ТЭС – кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция (анортит, геленит).

Сравнительную растворимость аморфных и кристаллических компонентов зол и шлаков ТЭС определяли [7] в условиях, моделирующих промышленный процесс водотепловой обработки (температура 20, 100 и 175°C, pH жидкой фазы 6,8 и 12,8, длительность контакта твердых фаз с жидкостью 8 ч). Нерастворившиеся остатки отделяли от жидкой фазы при температуре опыта.

Термическая обработка полевых шпатов – альбита и микроклина при 1200°C с частичной их аморфизацией способствует 2-3-кратному увеличению растворимости в нейтральной жидкой фазе и лишь на 10-30% повышает концентрацию SiO_2 при 20 и 100°C в щелочном растворе. Только при 175°C в растворе с pH=12,8 концентрация SiO_2 возрастает почти в 2 раза. Заметная растворимость Al_2O_3 и оксидов щелочных металлов (Na_2O и K_2O) достигается при температурах 100-175°C при использовании щелочного раствора. Можно полагать, что отмеченный рост концентрации SiO_2 , Al_2O_3 и оксидов щелочных металлов в жидкой фазе, контактирующей с обожженными альбитом и микроклином, обусловлен разупорядочиванием их структуры и повышением проницаемости аморфного вещества по сравнению с исходным кристаллическим.

1.2.3 Классификация зол и шлаков как сырья для изготовления материалов и изделий

Основной недостаток зол – непостоянство состава. Это, естественно, порождает большие трудности при их классификации. Собственно единой, составленной с учетом всех признаков классификации еще не создано. В свое время эту работу выполнил Г.Н. Сиверцев, позднее ее провели А.В. Волженский и Б.Н. Виноградов [8]. Последняя классификация признается наиболее полной: она охватывает все виды топливных шлаков и включает пылевидные золы.

Зола как тонкодисперсный материал представляет собой совокупность мельчайших частиц разного размера, формы, фазового и минералогического состава, имеющих существенно различную истинную поверхность. Это обстоятельство вызывает необходимость рассмотрения ряда классификаций.

Классификации, используемые в строительстве. Классификация по виду сжигаемого топлива. Различают золы от сжигания горючих сланцев, торфа и углей – бурых, каменных, антрацитов.

В зависимости от места осаждения в топочном пространстве котлов ТЭС золы отличаются существенными особенностями. Так, фракции с крупными размерами частиц, выпадающие из турбулентных потоков газов в бункер подтопочного пространства, называют золой-провалом. Высокодисперсные частички золы, выносимые из зоны сгорания топлива и осаждающиеся в аппаратах очистки отходящих газов, называют золой-уносом.

На место осаждения частиц золы кроме крупности влияет также их истинная плотность, изменяющаяся в пределах $2,2-3 \text{ г/см}^3$. Поэтому в золе провале оказываются частицы не только самые крупные, но и с наибольшей плотностью вещества.

На рис. 1.4 приведена предлагаемая классификация зол в зависимости от места осаждения и соответственно их отбора.



Рисунок 1.4 - Классификация зол по месту их осаждения

Место отбора определяется аппаратами, в которых происходит осаждение золы, а также средствами ее дальнейшего транспортирования: чем больше ступеней очистки проходят отходящие газы, тем более высокую степень дисперсности имеют выпадающие из них части золы.

Можно полагать, что с увеличением удельной поверхности частичек фракции содержат больше шарообразных частиц; ППП меньше, что указывает на малое количество окислов частиц; во фракциях более активно проявляются их пуццоланические свойства; фракции обеспечивают более высокую удобоукладываемость смесей при добавке их в бетон.

По химическому составу золы угольных бассейнов страны существенно различаются между собой. На рис. 1.5 представлена тройная диаграмма, составленная Всесоюзным теплотехническим институтом [9] для основных месторождений энергетических топлив. В основу ее положено количественное содержание трех групп оксидов: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} + \text{MgO}$ и Fe_2O_3 . Изменения в их соотношениях определяют свойства зол. Е.А. Галибина [10] характеризует химический состав совокупностью SiO_2 , CaO и суммой полуторных оксидов, В.Х. Кикас [11] – разные фракции сланцевой золы только тремя оксидами (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO).

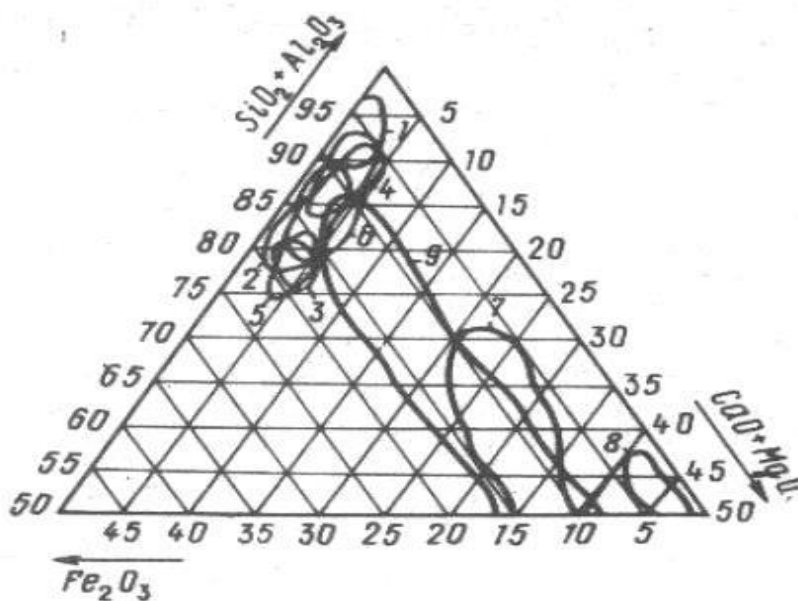


Рисунок 1.5 – Тройная диаграмма химического состава зол твердых топлив: 1 – экибастузского угля; 2 – донецкого АШ; 3 – львовско-волынского угля; 4 – кузнецкого угля; 5 – донецкого ГСШ; 6 – подмосковного угля; 7 – канскоачинского угля; 8 – эстонского угля; 9 – торфов

Представленные на диаграмме данные охватывают химический состав зол углей всех основных бассейнов: Донецкого (ДШ, Г, Д), Подмосковного, Львовско-Волынского, Экибастузского, Кузнецкого, Канско-Ачинского и прибалтийских сланцев. Их можно разделить на 2 класса. К классу 1 относятся золы, которые при смешении с водой затвердевают в камневидное тело, к классу 2 – затвердевающие лишь при смешении с известью и водой, т.е. обладающие свойствами пуццолан. Этот признак наиболее важен, потому что золы, имеющие высокую гидравлическую активность и способность к самостоятельному твердению, обычно не пригодны для получения многих обжиговых материалов, хотя последние и наиболее перспективны с учетом возможности максимальной утилизации их в строительстве.

Содержание в золе больших количеств оксида кальция полезно, если он находится в связанном состоянии (силикаты, алюминаты и др.) и может быть нежелательным, если его количество так велико, что CaO в значительном количестве остается в свободном состоянии. Это порождает потенциальную нестабильность строительных материалов из таких зол. Особенно существенно

нестабильность отражается на обжиговых материалах и на автоклавных бесцементных изделиях.

Класс золы определяется значением модуля основности, выраженного соотношением, % $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$.

Непосредственное отношение к гидравлической активности золы имеет фазовый состав ее вещества. Последний изменяется в зависимости от образования золы: температуры и равномерности ее распределения в топке котлов ТЭС, условий охлаждения расплава. На основе этих особенностей генезиса зол и шлаков построена классификация А.В. Волженского и Б.Н. Виноградова [8], учитывающая три возможные фазовые составляющие.

1.3 Производство вяжущих материалов на современном этапе

В строительной индустрии наиболее широко используют такие вяжущие материалы, как портландцемент и гипс. [14, 20, 26].

Портландцемент является основным вяжущим материалом, широко используемым при производстве самых разнообразных строительных изделий, зданий и сооружений. По данным [15], в России в 2013 году было произведено 66,45 млн. т цемента. В период до 2020 года планируется довести уровень производства цемента в России до 92 млн. т в год [25].

Производство цемента является материалоемким и энергоемким. На производство 1 т цемента расходуется около 1,8 т природного и техногенного сырья, при среднем удельном расходе условного топлива на обжиг клинкера 185 кг (5420,5 МДж) на тонну клинкера и удельном расходе электроэнергии 115кВт·ч/т цемента. Для получения 1 т клинкера необходимо приготовить 1,5 т сырьевой смеси, содержащей примерно 75 мас. % карбонатного компонента (известняка, мела, мрамора), при обжиге которой выделяется примерно 450 кг диоксида углерода. С учетом доли клинкера (87,2 %) в объеме произведенного цемента, выбросы диоксида углерода составляют ориентировочно 26 млн. т в год, что является серьезной

экологической проблемой производства цемента [13, 15, 39].

Для технологии строительного гипса характерна относительная дешевизна сырья и невысокие удельные затраты энергии [14, 16, 18, 20, 60]. Однако данное вяжущее не обладает высокими эксплуатационными качествами. Так, прочность при сжатии строительного гипса в зависимости от сорта находится в пределах 3,5-5,5 МПа [20], а коэффициент размягчения составляет 0,3-0,5 [14].

Анализ приведенных данных наводит на мысль о необходимости разработки в качестве частичной замены данным вяжущим недорогого экологически безвредного вяжущего материала, обладающего высокими адгезионно-когезионными свойствами.

1.4 Методы получения промышленных жидких стекол

«Жидкое стекло» - водные растворы щелочных силикатов независимо от типа щелочного катиона, полимерного строения и концентрации кремнезема, а также способа получения [34]. Согласно виду катиона жидкие стекла подразделяют на натриевые, калиевые, литиевые и аммонийные. Являясь продуктами основного неорганического синтеза, жидкие стекла производятся практически во всех промышленно развитых странах мира.

Промышленностью России выпускаются в основном натриевое жидкое стекло, и в значительно меньших масштабах – остальные виды. Это обусловлено сравнительно большей доступностью и дешевизной как карбоната, так и гидроксида натрия по сравнению с соответствующими соединениями калия, лития или аммония.

Благодаря высоким вяжущим качествам и способности при затвердевании формировать прочный материал, одним из основных направлений использования жидких стекол, является получение искусственных силикатных камней. При этом жидкое стекло смешивают с различными заполнителями (техногенные отходы, песок, молотые горные породы,

древесные опилки), после чего придают форму полученной дисперсной системе. Жидкое стекло само по себе не обладает способностью к объемному отверждению, в связи с чем в состав сырьевых смесей вводят отвердители либо кратковременно погружают полуфабрикаты в раствор хлорида кальция, который вызывает отверждение жидкого стекла и придает тем самым изделиям требуемую прочность [45, 50, 55, 56, 57, 58].

Наряду с несомненными достоинствами, жидкое стекло обладает существенными недостатками – неспособностью к объемному твердению и низкой водостойкостью композиционных материалов на его основе. Решение данных проблем позволит использовать жидкое стекло в качестве частичной замены такому широко используемому вяжущему материалу, как портландцемент, производство которого весьма энерго- и материалоемко, неэкологично и требует значительных капитальных затрат [34]. Натриевое жидкое стекло, наряду с остальными видами жидких стекол, стекловидными силикатами и кристаллическими либо аморфными силикатами и гидросиликатами (т.н. растворимыми силикатами) относятся к низкомолекулярным силикатам с молярным соотношением $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 1-4$. Существует группа высокомолекулярных жидких стекол (силикатный модуль 4-25) – полисиликатов щелочных металлов, являющихся переходной областью составов от жидких стекол до стабилизированных щелочью кремнезольей. Жидкое стекло представляет собой водный раствор силикатов натрия. Безводная система $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ может быть описана диаграммой [67], приведенной на рис.1.6

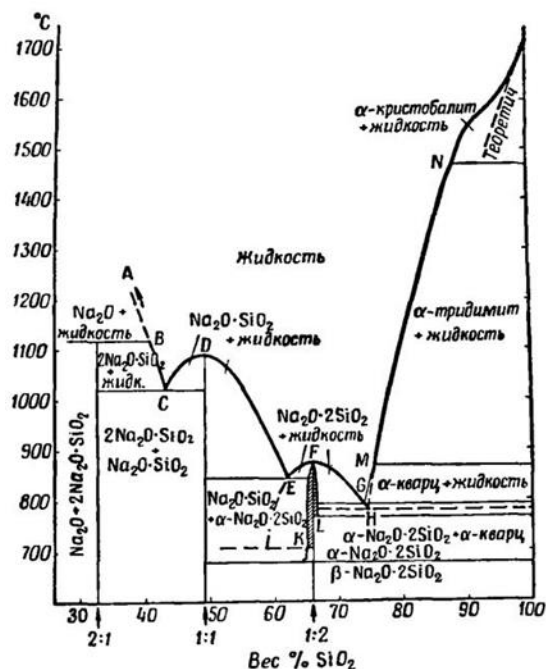


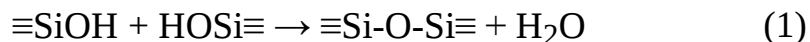
Рисунок 1.6 – Диаграмма состояния системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$

Для данной системы характерно наличие трех бинарных соединений. Ортосиликат натрия $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ плавится инконгруэнтно при 1118°C , метасиликат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ плавится конгруэнтно при 1086°C и дисиликат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ плавится конгруэнтно при 874°C . При сплавлении соответствующих количеств соды и кремнезема с минимальным содержанием примесей удастся получать прозрачные стекловидные сплавы, которые в случае медленного охлаждения кристаллизуются в соответствующие бинарные соединения. В системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ присутствуют три эвтектики при 1022°C , 846°C и 793°C . Наиболее низкая температура появления расплава в данной системе 793°C . В высокощелочной области диаграммы система изучена слабо из-за трудностей исследования высокощелочных расплавов [23].

В системе $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ образуется большое количество разнообразных кристаллогидратов. В их основе лежит замещенная ортокремниевая кислота $\text{Si}(\text{OH})_4$.

Известны силикаты натрия всех степеней ее замещения, каждый из которых образует широкий ряд кристаллогидратов, содержащих до 8 молекул воды. Помимо этого кремнекислота может вступать в реакцию

поликонденсации с образованием разнообразных поликремниевых кислот:



Промышленные кристаллические гидросиликаты натрия поступают в продажу в виде порошков. Наибольшее значение имеет $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, имеющий силикатный модуль 1 и относительно небольшое количество связанной воды. В меньших количествах производят $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Собственно водные растворы силикатов натрия - жидкие стекла представляют собой сложные нанодисперсные системы [3, 12]. С повышением модуля увеличивается склонность щелочных силикатов к метастабильным состояниям. В высокомодульных жидких стеклах содержание воды может изменяться от 0 до 100 мас. % без потери их гомогенности. Чем ниже модуль системы, тем более она динамична, тем более она склонна к кристаллизации, и, соответственно, переходу в гетерофазное состояние. С понижением температуры ниже 100 °С скорость достижения равновесия в системе $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ существенно падает, поэтому при комнатных температурах системы с высоким содержанием кремнезема вообще не достигают равновесия и образуют множество термодинамически неравновесных состояний, многие из которых практически значимы [34].

1.4.1 Способы получения жидкого стекла

В настоящее время жидкое стекло производят по так называем «сухому» и «мокрому» способам. Примерно 90 % жидкого стекла в России производится по «сухому» способу.

«Сухой» способ производства жидкого стекла заключается в гидротермальном растворении заранее сваренного натриевого силикатного стекла, так называемой силикат-глыбы. Силикат-глыба – крупнотоннажный промышленный продукт, получающийся при высокотемпературном сплавлении кремнезема с карбонатом или сульфатом натрия и полученного расплава.

Силикат-глыбу и воду загружают во вращающийся автоклав, подают насыщенный водяной пар под давлением порядка 0,5-0,6 МПа, по истечении нескольких часов давление опускают до атмосферного и сливают готовое жидкое стекло [33, 47, 49, 51, 59].

Сравнение технологий получения портландцемента и силикат-глыбы с модулем $m=3$ показывает снижение расхода тепла в 2,08 раза, выделения диоксида углерода до 153,8 кг на 1 т силикат-глыбы, а если учесть, что в составе жидкого стекла содержится 45-50 % твердой фазы, то доля диоксида углерода, приходящаяся на 1 т жидкого стекла составляет 70-77 кг [15, 25].

Производство жидкого стекла «мокрым» способом подразумевает гидротермальное растворение тонкодисперсного кремнезема в крепком водном растворе едкой щелочи. На производство 1 т жидкого стекла с $M=3,0$

затрачивается 210 МДж тепла или 58 кВт·ч электроэнергии. Это в 25,8 раз меньше, чем в случае производства 1 т портландцемента, и в 12,9 раза меньше,

чем в случае производства 1 т жидкого стекла «сухим» способом. Данная технология получения жидкого стекла позволяет полностью решить проблему выбросов углекислого газа, и дает возможность получать жидкое стекло в больших объёмах из доступного сырья [17, 31, 42, 46, 48, 62] последующим охлаждением.

1.4.2 Способы модифицирования жидких стекол

Под термином «модифицирование» жидкого стекла будем понимать введение в состав жидкого стекла специальных добавок, вызывающих переход его в твердое состояние. При этом, помимо модифицирования, жидкое стекло может быть отверждено еще двумя способами – сушкой при обычной температуре, и при температурах, превышающих 100 °С [73]. Модифицирование жидкого стекла позволяет существенно изменять основные его параметры, получая, по существу, новое вяжущее [68, 69, 70, 71, 72].

Согласно авторам [34], все добавки, применяемые для модифицирования жидкого стекла, могут быть разделены на пять типов: кислые, осаждающие, высаливающие, гидрофильные.

Кислые (золеобразующие) добавки понижают основность системы и способствуют формированию полисиликатных ионов, увеличивая таким образом модуль жидкого стекла. К добавкам такого класса относят вещества, имеющие рН ниже, чем у жидкого стекла, т.е. менее 11. К кислым добавкам относят органические и неорганические кислоты, кислые соли, пиросоли, соли, гидролизующиеся с образованием кислой среды, кислотные оксиды и сложные эфиры, а также кислые газы, такие как SO₂, CO₂, HCl или газовые смеси, содержащие кислые компоненты [28, 44, 53, 54]. Жидкие стекла помимо гидроксильных анионов содержат в своем составе ионы $\equiv\text{SiO}^-$, также проявляющие основные свойства, т.е. способность реагировать с частицами кислотного характера. В ряду кислых модификаторов наиболее широко применяемыми являются фторсиликаты натрия и калия [61, 64, 66]. Их преимущество состоит в том, что помимо связывания щелочи, при разложении они выделяют кремнекислоту, которая заметно уплотняет твердеющую систему. Реакция между фторсиликатными и гидроксильными ионами протекает согласно уравнению:



Введение порошка Na₂SiF₆ в жидкое стекло как и в случае с другими кислыми отвердителями, приводит к мгновенной коагуляции жидкого стекла вокруг зерен модификатора. В связи с этим, кремнефторид натрия перед введением в жидкое стекло обычно предварительно смешивают с наполнителем. В литейном деле обычно используют 8 % водный раствор кремнефтористой кислоты, при этом из-за высокой скорости протекания реакции нейтрализации щелочи жидкого стекла, кислоту берут в двух-четырехкратном недостатке по отношению к стехиометрии реакции.

Для оценки способности жидкого стекла к отверждению применяют

понятие «порог коагуляции», который соответствует массовой доле Na_2O , нейтрализация которого вызывает коагуляцию жидкого стекла. С увеличением концентрации силикатов в жидком стекле и с уменьшением его модуля порог коагуляции увеличивается. Для натриевого жидкого стекла он соответствует достижению pH 10 и $M=4$. При использовании большинства кислых модификаторов кислотно – основная реакция нейтрализации анионов, присутствующих в жидком стекле, протекает в диффузионном режиме, т.е. лимитирующей стадией такого процесса является скорость смешения реагентов. Это приводит к тому, что на границе раздела фаз возникают прослойки с коагулировавшей кремнекислоты, затрудняющие процесс смешения реагентов.

Процессы гелеобразования в жидком стекле в сильнейшей степени зависят от pH [3, 12]. При относительно высокой кислотности среды ($\text{pH}<6$) происходит поликонденсация нейтральных молекул силикатов до образования трехмерных частиц, имеющих радиус порядка 2-3 нм. Далее рост частиц замедляется, происходит объединение их в цепочечные и сетчатые структуры без изменения концентрации в объеме жидкого стекла, т.е. образуется гель. При $\text{pH}=6$ над процессом гелеобразования превалирует процесс осаждения кремнезема. При повышении pH вплоть до 10 в присутствии ионов Na^+ превалирует процесс коагуляции кремнезема, сопровождающийся помутнением жидкого стекла вследствие образования крупных агломератов. В случае, если катионы натрия постепенно связывают либо выводят посредством, например, ионного обмена – образуется прозрачный золь с частицами диаметром порядка 2-3 нм. При pH жидкого стекла > 11 процессы агрегирования частиц золя затруднены вследствие их взаимного отталкивания благодаря наличию отрицательного заряда на поверхности.

В результате нейтрализации жидкого стекла, как правило, не происходит расслоения системы с образованием водного и гелевого слоев, а образуется высоко обводнённый гель или, иначе, гидрогель [43, 65]. При высыхании гидрогеля происходит уменьшение объема системы, сопровождающееся ростом

–внутренних напряжений, что значительно ухудшает вяжущие свойства образующегося ксерогеля. Для минимизации подобных явлений целесообразно использовать наиболее концентрированные жидкие стекла. При высыхании гидрогеля содержащиеся в водной фазе катионы натрия мигрируют вслед за ней в поверхностные слои геля, где вызывают кристаллизацию солей в поровом пространстве. Внутренние слои геля, в свою очередь, обедняются натрием, что в значительной степени увеличивает водостойкость образующегося кремнеземистого ксерогеля.

В литейном деле находит широкую практику применение CO_2 в качестве кислого модификатора жидких стекол, при этом изделия, получаемые на основе смеси песка и небольшого количества жидкого стекла, подвергаются продувке углекислым газом в течение 0,5-2 минут [29, 32, 40]. Такой способ отверждения жидкого стекла приемлем только при получении изделий относительно небольшого формата. При получении крупноформатных изделий, а также поточном производстве мелкоформатной продукции наиболее приемлемым агрегатным состоянием модификатора является жидкое.

К классу осаждающих модификаторов относят соединения, образующие силикаты с меньшей растворимостью, чем щелочные силикаты. К таким добавкам относят оксиды, гидроксиды, соли, органические соединения поливалентных металлов. Наиболее важными представителями данного класса модификаторов являются кальцийсодержащие вещества, такие как оксид и гидроксид кальция, доменный шлак, нефелиновый шлак, портландцемент и т.д. Применение кальцийсодержащих веществ при модифицировании жидких стекол позволяет получать составы с самыми разнообразными технологическими свойствами, устраняя такие фундаментальные недостатки немодифицированного жидкого стекла, как отсутствие способности к объемному твердению и низкая водостойкость [21, 24, 30, 36].

Сшивающие добавки представляют собой полифункциональные органические соединения, которые связываются с поверхностными группами кремнекислородных олигомеров с помощью водородных связей, сшивая

молекулы поликремниевой кислоты. В качестве сшивающих добавок используют такие не ионные водорастворимые органические соединения как спирты, простые эфиры, кетоны, амины и амиды [37, 38, 41, 63].

Высаливающие добавки вызывают перераспределение сольватной воды между частицами компонентов жидкого стекла, снижая его агрегативную устойчивость. Уменьшение толщины сольватных оболочек анионов способствует поликонденсации с выделением низкоосновных щелочных силикатов и кремнегеля. При введении в жидкое стекло модификаторов данного типа происходит разделение системы на два слоя. В «водной» фазе концентрируются электролиты, в «органической» - силикаты с повышенным модулем относительно исходного жидкого стекла. Кремнезем из «органического» слоя может быть извлечен и сконцентрирован в виде геля. К модификаторам высаливающего типа относят соли щелочных металлов [22, 27, 35, 52].

Гидрофильные добавки физически или химически связывают воду жидкого стекла, повышая таким образом концентрацию растворов щелочных силикатов, что способствует поликонденсации силикат-ионов. К гидрофильным добавкам относят вещества, образующие кристаллогидраты, а также тонкодисперсные или тонкопористые наполнители типа цеолитов.

1.5 Цели и задачи работы

Анализ литературных данных наводит о необходимости разработки в качестве частичной замены портландцемента на недорогой, экологически безвредный вяжущий материал, обладающий высокими техническими характеристиками. Таким вяжущим является жидкое стекло, однако его применение сильно ограничено в связи с неспособностью к объемному твердению и низкой водостойкостью получаемых на его основе материалов.

Введение в жидкое стекло различных модификаторов позволяет частично решить данные проблемы, однако до сих пор не найден эффективный

модификатор, обладающий при этом высокой коммерческой доступностью и экологичностью. Выход из данного положения возможен благодаря применению кальцийсодержащей добавки. При введении их в жидкое стекло образуются сложные натрий-кальциевые гидросиликаты, а также малорастворимый в воде кремнегель, являющийся главной клеящей субстанцией и основой для получения водостойких структур твердения.

Цель работы: разработка составов и технологии получения модифицированного жидкостекляного вяжущего и композиционных материалов на его основе.

Задачи:

1. Разработать оптимальные составы вяжущего на основе жидкого стекла и кальцийсодержащей добавки
2. Установить оптимальные составы и параметры синтеза вяжущего на основе жидкого стекла.
3. Изучить физико-химические процессы, протекающие при синтезе и твердении модифицированного жидкостекляного вяжущего.
4. Разработать состав и технологию изготовления композиционного материала с заданными характеристиками на основе полученного вяжущего.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Решение поставленных в работе задач, которые включают комплексные исследования различных по природе и свойствам сырьевых материалов и свойств получаемых материалов требует привлечения широкого спектра физико-химических методов анализа. В работе применялись общепринятые методы и методики проведения лабораторных испытаний силикатных материалов.

2.1 Рентгенофазовый анализ

Целью рентгенофазового анализа является идентификация вещества в смеси по набору его межплоскостных расстояний (d) и относительным интенсивностям (I) соответствующих линий на рентгенограмме. Для этого, согласно закону Брегга - Вульфа, необходимо определение углов отражения (θ).

Качественный рентгенофазовый анализ заключается в идентификации кристаллических фаз на основе присущих им значений межплоскостных расстояний d (hkl) и соответствующих интенсивностей линий I (hkl) рентгеновского спектра.

Количественный фазовый анализ, т.е. определение количества какой-либо одной или ряда фаз в многофазных композициях, основан на том, что интенсивность линий данной фазы пропорциональна объемной доле данной фазы в смеси. Анализ основан на количественном сравнении интенсивности линий разных фаз друг с другом или с интенсивностью линии эталона, снимаемого в тех же условиях. Существует много разновидностей методов рентгеновского количественного фазового анализа, описанных в специальной литературе. В любом из них происходит сравнение интенсивности так называемых “аналитических” линий каждой фазы - обычно линия наибольшей интенсивности, свободная от наложения других линий анализируемой или

остальных фаз многофазного образца. Для выделения аналитических линий необходимо предварительно провести качественный фазовый анализ [16].

2.2 Термические методы исследований

Главными задачами термического анализа является назначение природы и отличительных особенностей процессов изменения различных веществ, при нагревании и установлении минерального состава веществ в первую очередь необходимо изучить процессы, происходящие при нагревании отдельных минералов и выявить характер проявления этих процессов на кривых нагревания и обезвоживания. Зная термические характеристики отдельных минералов можно определить минеральный состав исследуемых веществ.

С этой целью производится сравнения данной кривой с типовыми кривыми нагревания чистых минералов и их смесей в различных пропорциях. Определяющими моментами при расшифровке термограмм являются характер изменения вещества при нагревании величина изменений и температура, при которой оно происходит.

Метод кривых нагревания заключается в непрерывном, равномерном нагревании исследуемого вещества в интервале температур от комнатной до 1000-1200 °С иногда и выше. Ход изменения температуры нагревания образца, измеряемой термопарой регистрируется на фотобумаге с помощью зеркального гальванометра и самописца.

Дифференциальная кривая получается с помощью дифференциальной термопары, которая состоит из двух термопар, включённых навстречу друг к другу через зеркальный гальванометр. Горячий спай одной термопары помещается в исследуемое вещество, а другой горячий спай – в эталон. При отсутствии различий в температурах образца и эталона тока в цепи термопар не будет, так как оба спая нагреты одинаково и возникающие термотоки гасят друг друга, самописец зарегистрирует прямую практически параллельную оси абсцисс. При наличии в испытуемом веществе тепловой реакции возникает разность температур между

образцом и эталоном. В цепи термопар возникает ток, и самописец регистрирует дифференциальную кривую.

Обычно при записи кривых нагревания концы термопары присоединяются к гальванометру так, чтобы экзотермические процессы давали изгибы (пики), направленные вверх от нулевой риски, а эндотермические процессы - изгибы или впадины направленные вниз от нулевой линии.

Началом любой реакции считается начало отклонения кривой от прямолинейного направления. Если процесс идет быстро, то максимальные точки отклонения кривых (остановки) отвечают конечным температурам соответствующих реакций. При медленном течении процесса изгибы кривых имеют пологий характер, процесс не заканчивается при максимальном отклонении кривой и идет дальше. Острые пики соответствуют быстрому течению процессов, пологие изгибы - медленным постепенным процессам [17].

2.3 Методы исследований физико-механических свойств

Определение физико-механических свойств исследуемых сырьевых материалов, композиций и образцов проводилось по стандартным или специальным методикам.

Таблица 2.1 – Свойства материалов и методики их определения

Наименование свойств	Методика, ГОСТ	Примечание
Удельная поверхность, см ² /г	Прибор ПСХ-2 Метод БЭТ	Высушивание до постоянной массы
Предел прочности при сжатии, МПа	ГОСТ 17177-94	Стандартные образцы

2.4 Микроскопия и элементный анализ

Микроструктуру образцов исследовали с помощью микроскопов двух типов – оптического и электронного. Работу на оптическом микроскопе

ПОЛАМ Р-312 производства ОАО «ЛОМО» производили как в проходящем, так и в отраженном свете. Тонкую структуру образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6000. С помощью входящей в его комплект приставки рентгенофлуоресцентного анализа JED 2300 проводили нестандартный количественный элементный анализ материала образцов.

2.5 Методики испытаний физико-механических характеристик экспериментальных образцов

Предел прочности при сжатии образцов определяли с помощью специализированного малогабаритного пресса ПМ-5МГ4 производства ООО СКБ “Стройприбор”. Значение предела прочности при сжатии в МПа определяли по формуле:

$$R_{сж} = S/P \quad (3)$$

где P – разрушающая нагрузка, МН;

S – площадь поверхности плиты пресса, контактирующей с образцом, m^2 .

Предел прочности при изгибе образцов определяли, помещая в вышеуказанный пресс специальное приспособление для трехточечного нагружения образцов. Значение предела прочности при изгибе в МПа определяли по формуле:

где P – разрушающая нагрузка, МН;

l – расстояние между осями опор, м;

b – ширина образца, м;

h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, м.

Водостойкость образцов оценивали с помощью коэффициент размягчения $K_{разм}$, который равен отношению предела прочности при сжатии насыщенного водой материала к таковому для сухого материала. Насыщение образцов водой при определении коэффициента размягчения $K_{разм}$ проводили в

течение 24 ч при температуре 22 °С.

Для каждого типа испытаний из каждого экспериментального состава изготавливали по 3 образца, при этом полученные значения физико-механических характеристик образцов анализировали. При расхождении результатов параллельных испытаний более чем на 5 % изготавливали дублирующие образцы. Значение характеристик принимали равным среднему арифметическому от трех близких результатов испытаний.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Предпроектный анализ

Цель работы – определение экономической эффективности с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В задачи научного исследования входят: определение концепции научного исследования (Инициация научного исследования), определение SWOT-анализ, планирование научного исследования, расчет бюджета научного исследования, определение ресурсоэффективности научного исследования.

4.1.1. Инициация научного исследования (НИ)

Данная исследовательская работа посвящена на разработку водостойкого и высокими прочностными характеристиками строительного материала на основе техногенных отходов (золы) и жидкостекольного вяжущего.

Цели и результат исследования. Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового исследования или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны исследования, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного исследования.

В таблице 4.1 и 4.2 представлена информация о заинтересованных сторонах исследования и цели и результаты исследования.

Таблица 4.1 – Цели и результат исследования

Цели научного исследования:	Разработка золосиликатного кирпича, отличительными свойствами которых являются долговечность, водостойкость, морозостойкость, высокие прочностные характеристики.
Ожидаемые результаты научного исследования:	Внедрение технологии получения золосиликатных материалов на основе золы.
Критерии приемки результата научного исследования:	Высокие прочностные характеристики Удобство эксплуатации и долговечность продукции
Требования к результату научного исследования:	Требование:
	Достижение поставленных целей
	Готовность проекта к реализации в условиях производства

Таблица 4.2 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны научного исследования	Ожидания заинтересованных сторон
Томский Политехнический университет	Получения патента
«Кулундинский завод силикатного кирпича» (Алтайский край).	Совместная реализация проекта и сбыт готовой продукции
Министерство природных ресурсов и экологии РФ	Утилизации золоотвалов

К выполнению научного исследования привлечены: образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления

для ее будущего повышения. Данный анализ проводился с помощью оценочной карты (табл. 4.3).

В табл. 3 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства золосиликатного кирпича.

Таблица 4.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэкономичность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
2. Ресурсосбережение	0,20	5	4	4	1	0,8	0,8
3. Прочность	0,15	4	5	4	0,6	1	0,6
4. Морозостойкость	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень проникновения на рынок	0,10	3	4	4	0,3	0,4	0,4
3. Цена	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
Итого	1	31	29	29	4,5	4,35	4,1

Б_ф – продукт проведенной научной исследовательской работы;

Б_{к1} – «Каинский кирпичный завод»;

Б_{к2} – «Кулундинский завод силикатного кирпича».

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i-го показателя.

По результату анализа мы видим, что результат исследования является менее энергоемким и имеет меньшие материальные затраты, следовательно, цена ниже. Мы можем уверенно утверждать, что результат научно-

исследовательской работы ресурсоэффективен по сравнению предложениям конкурентов.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) – это комплексный анализ научного исследования (табл.44.).

Таблица 4.4 – SWOT-анализ реализации проекта.

	Сильные стороны научного исследования: С1. Экологичность технологии. С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С3. Использование отходов производств в качестве сырья (ресурсоэффективность технологии). С4.Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ.	Слабые стороны научного исследования: Сл1. Недостаток оборудования и финансирования научного проекта Сл2.Невозможность производства высокопустотных изделий
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок Устойчивый спрос на результаты исследования В2. Особенности климата региона	Разработка технологии золосиликатных материалов	Материал с магнитным наполнителем действует эффективнее, т.е. цена будет выше
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	Экологичность выбранной технологии, а также использование отходов в качестве сырья вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.	При развитии конкуренции есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает

По полученным данным можно сделать следующие выводы, что возможности совместно с сильными сторонами благоприятствуют развитию рынка и спроса на производимый товар. Возможные угрозы при производстве: отсутствие спроса, развитая конкуренция не своевременное финансирование, могут сильно ослабить позиции данного предприятия на рынке.

4.2 Планирование научного исследования

4.2.1. Организационная структура НИ

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного исследования, определить роль каждого участника в данном исследований, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты. Информация об организационной структуре представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Рабочая группа научного исследования

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в НИ	Функции	Трудо- затраты, час., год
1	Осмонов Памирбек Амантурович НИ ТПУ, магистрант	Исполнитель по НИ	- разработка рабочих составов - проверка качества продукта	900
2	Лотов Василий Агафонович, НИ ТПУ, профессор	Руководитель НИ	- формирование целей исследования - координирование деятельности участников исследования	540
ИТОГО:				1440

Трудозатраты были рассчитаны на основании следующих данных: исследования выполняется 9 месяцев, руководитель НИ принимает участие 3 раза в неделю на протяжении 3 часов, исполнитель работает в среднем 5 дней в неделю по 5 часов.

4.2.2. Ограничения и допущения исследования.

Ограничения исследования – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды исследования, а также «границы исследования» - параметры исследования или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного НИ.

Таблица 4.6 – Ограничения исследования

Фактор	Ограничения/ допущения
<i>Бюджет НИ</i>	
Источник финансирования	-
<i>Сроки НИ:</i>	
Дата утверждения плана управления исследованием	01.10.2015
Дата завершения исследования	01.06.2016
Прочие ограничения и допущения*	Время использования научного оборудования.

Таким образом, мы определили в рамках инициации исследования изначальные цели и финансовые ресурсы, заинтересованные стороны исследований, действия которых направленные на достижение общего результата. Также провели анализ всех ограничительных факторов исследования.

4.2.3 План научного исследования

Для проведения детальной декомпозиции научно-исследовательской работы был составлен перечень основных этапов реализации исследования:

1. Разработка технического задания
2. Выбор направления исследований
3. Теоретические и экспериментальные исследования
4. Обобщение и оценка результатов

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам деятельности приведен в табл.4.7.

Таблица 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания НИ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Магистрант
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Магистрант
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель, Магистрант
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, Магистрант
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Магистрант
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Магистрант
Изготовление и испытание опытного образца	10	Получение опытного образца	Руководитель, Магистрант
	11	Лабораторные испытания опытного образца	Руководитель, Магистрант
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	эксплуатационно-технической документации)	Магистрант

4.2.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (6)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчетов занесены в табл.4,8

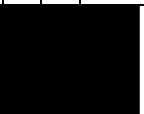
Таблица 4.8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы	Трудоёмкость работ			Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожсi}$, чел-дни				
Составление и утверждение технического задания	0,5	0,7	0,58	Р	-	0,58	0,86
Подбор и изучение материалов по теме	60	91	72,4	-	М	72,4	107,5
Выбор направления исследований	0,5	0,7	0,58	Р	-	0,58	0,86
Календарное планирование работ по теме	0,3	0,5	0,38	Р	М	0,19	0,28
Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	10	8,2	-	М	8,2	12,2
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	61	91	73	Р	М	36,5	54,2
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	78	100	86,8	Р	М	43,4	64,5
Получение опытного образца	70	90	78	-	М	115,8	128,9
Лабораторные испытания опытного образца	6	8	6,8	Р	М	3,4	5

Название Работы	Трудоёмкость работ			Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожид}$, чел-дни				
Оценка эффективности полученных результатов	1	2	1,4	Р	М	0,7	1
Определение целесообразности проведения ОКР	0,5	0,7	0,58	Р	-	0,58	0,86
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	20	30	24	-	М	24	35,6
Итого:						106,03 324,69	

Графический календарный план научного исследования используется для отображения план проведения работы по данной теме. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График строится в виде табл. 9 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.			март			апрель			май			июнь
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1.1.1	Составление технического задания	Руководитель, магистрант	0,1													
1.1.2	Выбор направления исследований	Руководитель, магистрант	0,6													
1.1.3	Подбор и изучение материалов	магистрант	4,2													
1.1.4	Планирование работ	Руководитель, магистрант	9,8													
1.2.1	Расчеты	Руководитель, магистрант	9,8													
1.2.2	Проведение экспериментов	Руководитель, магистрант	0,8													
1.2.3	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, магистрант	2,3													
2	Получение опытного образца	Руководитель, магистрант	3,7 2,2													
3.1	Лабораторные испытания опытного образца	Руководитель, магистрант	1,4 2,3													
3.2	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, магистрант	2,0 3,2 0,6													
3.3	Определение целесообразности проведения ОКР	магистрант	2 12													
3.4	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель, магистрант	17													



- руководитель



- магистрант

Кроме, календарного и графического плана научного исследования в данном разделе рассматриваются организационная структура исследования и бюджет данного исследования. В свою очередь данный расчет бюджета включает в себя нескольких расчетов, например расчет затрат на оборудования, сырье, материалы, заработанный платы.

4.3 Бюджет научного исследования

4.3.1 Расчет материальных затрат

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Материальные затраты данного НТИ представлены в табл. 4.10.

Таблица 4.10 – Сырье и материалы

Наименование	Кол-во	Цена за ед., руб., с НДС	Сумма, руб.
Сырье и реагенты			
Зола	3 кг	10	30
Жидкое стекло	10 кг	10	100
Гидроксид кальция	0,5 кг	10	5
Халат белый х/б	1 шт	650	650
Перчатки латексные	20 пар	22	440
Оформление документации			

Бумага для офисной техники	1 уп	130	130
Ручка шариковая	2 шт	30	60
Всего за материалы			1415
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			70,75
Итого по статье См			1485,75

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Все оборудования имеется на базе ТПУ. Считаем амортизационные отчисления за 2 месяца, так как эксперименты длились столько.

Таблица 4.11 – Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок амортизации, лет	Стоимость амортизации за год, руб	Стоимость амортизации за 2 мес, руб
Гидравлический пресс	250000,00	15	16666,67	2777,77
Электронные весы	20000,00	5	4000	666,66
Сушильная печь	50000,00	10	5000	833,33
Итого, руб				4277,76

4.3.2 Основная заработная плата

В работе над проектом принимало участие 2 человека: студент-магистрант и руководитель проекта.

Оплату труда студента-магистранта в форме стипендии рассчитывали за период с 02.2016 по 05.2016 год (работа над проектом) по установленной в учебном договоре ставке 5850 руб./месяц: $4 \cdot 5850 = 23400$ руб.

Зарплата руководителя рассчитывалась за весь период работы над проектом (с февраля по май 2016 года). Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным

штатно-должностным окладом. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Трудо- емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Лотов В.А.	103	1174,54	120977,62
2	Осмонов П.А.	103		23400
Итого				144377,62

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot Т_{\text{раб}} \quad (7)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$Т_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} \quad (8)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

$М = 4$ – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 4.13).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	126	126
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	17	17
- праздничные дни	6	6
Потери рабочего времени		
- отпуск	-	-
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	103	103

Месячный должностной оклад работника

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} \quad (9)$$

где $З_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{б}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 от $З_{\text{б}}$;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Базовый оклад $З_{\text{б}}$ руководителя, как к.т.н доцента составляет 23264,86 руб. Рассчитываем месячный должностной оклад руководителя:

$$З_{\text{м}} = 23264,86 \cdot 1,3 = 30244,32 \text{ руб.}$$

Среднедневная ЗП руководителя:

$$З_{\text{дн.}} = 30244,32 \cdot 4 / 103 = 1174,54 \text{ руб.}$$

Основная ЗП руководителя:

$$З_{\text{осн.}} = 1174,54 \cdot 103 = 120977,62 \text{ руб.}$$

В результате анализа бюджета научного исследования рассчитаны расходы на сырье и оборудования, энергозатраты, фонд заработной платы участников проекта.

4.3.3 Реестр рисков научного исследования

На пути реализации научной исследовательской работы могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска
Технические риски					
1	Требования	3	5	высокий	Поиск путей улучшения и удешевления производства изделий.
2	Технология	1	3	низкий	
3	Эффективность и надёжность	2	4	средний	
4	Качество	2	4	средний	
Внешние риски					
5	Рынок	5	5	высокий	Поиск путей повышения конкурентоспособности товара. Отслеживание появления новых конкурентов.
6	Заказчик	1	5	средний	
Организационные риски					
7	Ресурсы	1	4	средний	Поиск дополнительных источников ресурсов и финансирования.
8	Финансирование	1	4	средний	
Управление проектом					
9	Оценки	3	5	высокий	Отслеживание себестоимости и характеристик продукции конкурентов.

Рассмотрены все возможные события, которые могут возникнуть в ходе выполнения проекта и их последствия.

4.4 Определение социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Оценка социальной эффективности исследования

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты. Для оценки социальной эффективности научного проекта необходимо выявить критерии социальной эффективности, на которые влияет реализация научного проекта и оценить степень их влияния.

Таблица 15. Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Большая потребность энергии	Снижены затраты на сырье и энергоносители за счет усовершенствование технологии
Истощение запасов качественных сырьевых материалов	Вовлечение в производство вторичных сырьевых материалов
Некачественные строительные материалы	Уменьшение брака за счет снижение чувствительности к сушке

Определенные критерии социальной эффективности безусловно влияют и на экономическую составляющую. Результат исследования является социально эффективным.

4.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение сравнительной эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводился в форме таблицы.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО \ Критерии	Весовой коэффициент параметра	Разработка золосилиткатного кирпича	Аналог 1 силиткатного кирпича	Аналог 2 керамического кирпича
1. Повышение производительности	0,5	4	3	4
2. Улучшение свойств продукта	0,5	4	4	3
3. Ресурсосбережение	0,5	5	4	4
4. Энергосбережение	0,5	5	4	4
ИТОГО	1	9	7,5	7,5

$$I_m^p \text{ разработка} = 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,5 = 9$$

$$I_m^{a1} \text{ аналог 1} = 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 = 7,5$$

$$I_m^{a2} \text{ аналог 2} = 4 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,5 = 7,5$$

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

Вывод:

В экономической части магистерской диссертации были решены следующие задачи: проведена экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ, составлен план научного исследования, разработан календарный план, определены контрольные события научного исследования, проведена оценка рисков, рассчитан бюджет научного исследования, произведен

расчет экономической эффективности с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения данного исследования и показали высокие показатели в использовании оборудования и сырья отличии от силикатного и глинистого материала.

Определение экономической эффективности был рассчитан на основе интегрального показателя. Согласно полученным данным, исследования эффективен с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Материалы докладов:

1. Осмонов П.А., Сулейменова М.Е. Использование жидкостекольного связующего при утилизации техногенных отходов // XX Юбилейный Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 120-летию основания Томского политехнического университета 4-8 апреля, 2016 г, Томск

2. Сулейменова М.Е., Осмонов П.А. Использование жидкостекольного связующего при утилизации техногенных отходов // XX Юбилейный Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 120-летию основания Томского политехнического университета 4-8 апреля, 2016 г, Томск

3. Сулейменова М.Е., Осмонов П.А. Использование техногенных отходов при изготовлении строительных материалов // XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», посвященная 120-летию Томского политехнического университета. 17-20 мая, 2016 г, г. Томск

4. Осмонов П.А., Сулейменова М.Е. Исследование процессов твердения жидкостекольных композиций с золой // XVII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени Л.П. Кулёва «Химия и химическая технология в XXI веке», посвященная 120-летию Томского политехнического университета. 17-20 мая, 2016 г, г. Томск

5. Лотов В.А., Сулейменова М.Е., Осмонов П.А. Использование техногенных отходов при изготовлении строительных материалов // V Международная Конференция-школа по химической технологии ХТ'16, Волгоградский Государственный Технический университет. 16-20 мая, 2016 г., г.Волгоград