

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 технология силикатов и наноматериалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Алюмосиликатные пропанты на основе огнеупорного глиносодержащего сырья

УДК 666.762-032.521

Студент

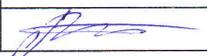
Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Бурыхина Мила Андреевна		24.05.2016

Руководитель

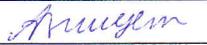
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вакалова Татьяна Викторовна	д.т.н.		7.06.2016

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		25.05.2016г.

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		04.06.2016г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТСН	Погребенков Валерий Матвеевич	д.т.н.		07.06.16

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) Химическая технология
 Кафедра Технологии Силикатов и Наноматериалов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Погребенков В.М)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме: **Бакалаврская работа**

Студенту:

Группа	ФИО
4Г21	Бурыхина Мила Андреевна

Тема работы:

Алюмосиликатные пропанты на основе огнеупорного глиносодержащего сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные литературного обзора
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор; Методы исследования; Экспериментальный анализ	Вакалова Т.В.
Финансовый менеджмент	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вакалова Т.В.	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Бурыхина Мила Андреевна		

**ПЛАНИРУЕМЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 180301 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
Р4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
Р9	<i>Активно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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) 180301 «Химическая технология»
Кафедра Технология силикатов и наноматериалов
Уровень образования – бакалавр
Период выполнения – осенний/весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

квалификационная работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	Основная часть	70
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Учёная степень	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТСН	Вакалова Т.В.	д.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит страниц, рисунков, таблиц, литературных источников.

Целью данной работы явилась комплексное исследование высокожелезистой бокситовой породы и аргиллитовой огнеупорной глины, включая их изменения при нагревании.

Ключевые слова: алюмосиликатные пропанты, боксит, огнеупорная глина, диаграмма состояния $MgO-Al_2O_3-SiO_2$, фазообразование, спекание.

В первой части работы приведены общие сведения об особенностях получения, свойствах и области применения алюмосиликатных пропантов.

Во второй части описаны методы, с помощью которых проводилось исследование свойств исходного сырья и готового продукта.

В третьей части содержатся результаты исследований физико-химических и технологических свойств высокожелезистой бокситовой породы и аргиллитовой огнеупорной глины в качестве основного сырья для получения алюмосиликатных пропантов.

Оглавление

Введение.....	8
1. Литературный обзор	10
1.1 Назначение и условия службы пропантов.....	10
1.2 Свойства и характеристика пропантов	11
1.2.1 Классификация пропантов	11
1.2.2 Свойства пропантов	13
1.2.3. Требования к керамическим пропантам	16
1.3 Сырьевые материалы для получения алюмосиликатных керамических пропантов	18
1.4 Процесс фазообразования керамических материалов из каолинов и огнеупорных глин	20
1.4.1 Характеристика системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$	20
1.4.2 Характеристика структуры и свойств муллита.....	23
1.5 Способы активации процесса спекания алюмосиликатной керамики...24	
1.6 Технологические особенности получения керамических пропантов.....	25
2. Методы исследования основных характеристик сырьевых материалов и изделий на их основе	30
2.1 Рентгеновский анализ.....	30
2.2 Определение кажущейся плотности и водопоглощения.....	31
2.3 Определение воздушной и огневой усадки.....	32
2.4 Определение предела прочности при сжатии обожженных образцов.....	34
2.5 Определение насыпной плотности пропантов.....	34
2.6 Определение сопротивления пропантов к раздавливанию.....	35
2.7 Определение сферичности и округлости пропантов... ..	37
3 Экспериментальная часть.....	
4. Социальная ответственность.	
Введение.....	
4.1 Производственная безопасность	
4.1.1 Анализ опасных и вредных факторов при разработке пропантов	
4.1.2 Анализ рпасных и вредных факторов при применении пропантов....	
4.2 Экологическая безопасность.....	

4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	
4.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	
5.1	Потенциальные потребители результатов исследования	
5.2	SWOT-анализ.....	
5.3	Анализ конкурентных технических решений	
5.4	Планирование научно-исследовательских работ.....	
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования.	
5.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ.	
5.4.3	Разработка графика проведения научного исследования	
5.4.4	Расчет материальных затрат НИИ	
5.4.5	Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ.	
5.4.6	Основная заработная плата исполнителей темы	
5.4.7	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	
5.4.8	Накладные расходы.....	
5.4.9	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	
5.5	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	
	Вывод:.....	
	Заключение	
	Список использованной литературы.....	

ВВЕДЕНИЕ

Среди керамических материалов значимое место занимают алюмосиликатные керамические материалы различной степени плотности, сочетающие в себе высокую огнеупорность, химическую стойкость и повышенную прочность. Ужесточение требований к керамическим материалам обуславливает необходимость увеличения доли керамики из синтетического сырья. Однако до сих пор не потеряли актуальности традиционные керамические материалы на основе природного алюмосиликатного сырья - каолинов, огнеупорных глин, бокситов, силикатов и гидратов глинозема.

Решение указанных проблем требует разработки новых подходов к комплексному исследованию такого сырья с целью создания новых видов керамических материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами, в т.ч. керамических пропантов – расклинивающих агентов, применяемых при добыче нефти и газа методом гидроразрыва пласта.

Отечественная и зарубежная практика получения пропантов свидетельствует о том, что основные трудности, с которыми сталкиваются при создании современных керамических пропантов, независимо от их разновидности, обусловлены требованиями, предъявляемыми к эксплуатационным свойствам пропантов, к которым относятся такие взаимно конкурирующие свойства гранулированного материала, как сохранить низкие значения насыпной плотности при его высокой прочности.

Особое значение для получения высокопрочных алюмосиликатных пропантов имеют бокситовые породы. В России и других странах СНГ имеется более 30 месторождений и рудопроявлений боксита. Из них только на двух осуществляется селективная добыча боксита огнеупорных сортов: Северо-Онежском (Архангельская область) и Тиманском (Республика Коми) месторождениях. Поскольку все месторождения бокситов имеют сложное геологическое строение, вещественный состав сырья подвержен

значительным колебаниям. В отдельных разновидностях каждого месторождения содержание Al_2O_3 варьируется от 44 до 79 %, Fe_2O_3 от 4 до 24 %, CaO от долей процента до 5 %, SiO_2 от 2 до 16 %. В связи с высоким содержанием примесей и нестабильностью состава бокситы большинства месторождений России являются непригодными для использования в качестве сырья для производства высокоглиноземистой керамики.

Бокситы отечественных месторождений в настоящее время для производства огнеупоров используются в небольших объемах. Добыча маложелезистых бокситов осуществляется в основном на Северо-Онежском месторождении, а производство продукции из него осуществляет Боровичский комбинат огнеупоров.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Назначение и условия службы пропантов

Наиболее эффективным назначением расширения современных областей использования алюмосиликатных керамических материалов является применение их в качестве пропантов, которые используются при добычи нефти и газа методов гидравлического разрыва пласта.

Гидравлический разрыв пласта можно рассматривать как гидромеханический метод, который влияет на продуктивный пласт, при нем порода разрывается по плоскостям при наименьших напряжениях горного давления в результате воздействия на пласт давления, создаваемого закачкой жидкости разрыва (гель, вода или кислота). После разрыва пласта благодаря продолжающейся закачки жидкости образованная трещина становится больше в размерах, далее этой же жидкостью транспортируется в трещину расклинивающийся агент (керамический пропант). Он удерживает трещину в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления. В результате образуется расклинивающийся каркас и усиливается нефтеотдача благодаря приобщения к выработке слабо дренируемых зон и пропластков [1].

Внешний облик пропантов представляет собой очень мелкий и серый гранулированный материал.

Они обязаны выдерживать большие пластовые давления и сопротивляться корродирующему действию агрессивной среды.

Задача пропантов, обеспечить проводимость и поддержание тока флюидов в течение жизни скважины, т.е. до ее опорожнения.

Одна из главных проблем при разработке состава для пропантов является присутствие таких параметров, которые взаимно конкурируют между собой, как например высокая прочность при низких значениях насыпной и кажущейся плотности гранулированного материала. Также снижение времени измельчения времени сырьевых компонентов, снижение

температур термоподготовки сырья и обжиг гранулированного материала (снижение энергоемкости технологического процесса) при этом сохранить прочность готового продукта [2].

Алюмосиликатные пропанты имеют относительно невысокую прочность. За счет снижения содержания стеклообразующих компонентов можно повысить в материале содержание кристаллической фазы и обеспечить приобретение некоторых свойств, способствующие максимально полной укладке зерен при гранулировании и минимальной пористости обожженного гранулированного материала [3].

1.2 Условия службы, свойства и характеристика пропантов

Для определенной глубины и ширины трещины при разрыве нефтегазоносного пласта подбираются определенные пропанты соответствующего состава и свойств.

1.2.1 Классификация пропантов

Пропанты является важным материалом, который используется в добычи нефти и газа, методов гидравлического разрыва пласта. Существуют три группы пропантов, приведенные в табл 1.1 [4].

Таблица 1.1 Материалы, используемые в качестве пропантов

Материалы	Описание
Кварцевый песок	Преимущество: подходит для всех типов пластов, доступность и экономность, способен образовывать при хранении более мелкие частицы, не теряющий высокой проницаемости Недостатки: невысокая прочность и низкая проницаемость

Смолопокрытый песок	<p>При изготовлении в основном используют резольные или новолачные фенолформальдегидные смолы. Покрытие фенольной смолой, впервые было использовано на таких материалах как, например: кварцевый песок, стеклянные шарики и керамика. Принцип основывается на образовании фильтр нисходящей скважины, при введении постепенно восстановленного просмоленного пропанта в скважину и связке частиц пропанта вместе. Когда пропант покрыт фенолформальдегидной смолой, которая плотно прикрепляется к поверхности пропанта, первоначально хрупкий материал становится стойким к разрушению. Фактически, покрытие смолой придает поверхности материала гладкость и округлость. Это снижает напряжение между зернами и поддерживает целостность частиц, повышает их химическую устойчивость. Такой способ менее чувствителен к глубине пласта и могут формировать фракции небольшого размера.</p> <p>Преимущества: высокая прочность при сжатии</p> <p>Недостатки: пропанты разбавляются в кислотах, предрасположенность к пылению в условиях сдвига</p>
Керамические пропанты (алюмосиликатные)	Синтетические материалы, которые получают путем спекания боксита и каолина. После обработки, конечный минералогический

	<p>состав материала представляет собой смесь муллита и корунда. Керамические пропанты при разрушении разрушаются на небольшое количество крупных осколков, которые позволяют сохранить приемлемую проницаемость.</p> <p>Преимущества: высокая прочность при сжатии.</p> <p>Недостатки: высокая плотность и стоимость.</p>
--	---

1.2.2 Свойства пропантов

1. Размер зерен

Пропанты применяют с размерами 0,425-0,85 мм (20/40 меш), реже 0,85- 1,7 мм (12/20 меш), 0,85-1,18 мм (16/20 меш), 0,212-0,425 мм (40/70 меш). Для подбора оптимального размера зерен пропанта, следует учесть ряд важных факторов. Крупные пропанты обладают довольно большой проницаемостью упаковки в трещине. Однако использование крупных пропантов тоже имеет свои отрицательные стороны. Чем больше размер гранул, тем меньше прочность пропанта. Мелкая фракция пропанта желательна для использования в слабосцементированных коллекторах, таким образом происходит вынос мелкодисперсных частиц из пласта и упаковка пропанта из крупных зерен постепенно засоряется и соответственно проницаемость упаковки уменьшается [5].

2. Прочность

Прочность один из основных критериев при выборе пропантов.

Задача по обеспечению определения длительности проводимости трещины на глубине залегания пласта является определенным пластовым условием. Преимущественно вертикальные трещины располагаются в

глубоких скважинах. На 19 Мпа/км при увеличении глубины приблизительно возрастает минимальное горизонтальное напряжение. Используются разные виды пропантов в зависимости от глубины: пропанты высокой прочности – свыше 3500 м; пропанты средней прочности – до 3500 м; кварцевые пески – до 2500 м [6].

3. Плотность

Плотность – это отношение показателя абсолютной плотности к воде. Расположение вдоль трещины и его перенос определяет плотность пропанта. Пропанты с высокой плотностью трудно поддерживать постоянно во взвешенном состоянии при их транспортировке в жидкости вдоль трещины. Пропанты высокой плотности загружаются в трещины двумя способами – использование повышенного темпа закачки жидкостью с малой вязкостью, либо применение жидкостей с высокой вязкостью, которые с минимальным осаждением транспортируют по длине трещины пропант. Предельную плотность рекомендуется брать $2,65 \text{ г/см}^3$ [5].

4. Пористость

Пористость - доля объёма пустот к общему объёму материала. Чем меньше пористость, тем больше прочность на раздавливание и меньше хрупкость. Является безразмерной величиной от 0 до 1 (или от 0 до 100 %) [4].

5. Сферичность и окатанность гранул

Упаковка гранул и пористость пачки пропанта определяется сферичностью и окатанностью гранул. Чем больше сферичность, тем больше пористость (и проницаемость) пачки пропанта при увеличении нагрузки на пропант. Окатанность гранул - это мера относительной остроты граней пропанта, а сферичность определяется как близость формы гранул к идеальной форме [7].

6. Растворимость в кислоте (12% HCl+3% HF)

Растворимость в кислоте определяется количеством имеющихся примесей, а также относительной стойкости пропанта к кислоте.

Данное свойство измеряют массовой концентрацией в процентах. Рекомендуемое количество для песка максимум 2 %, и 7 % для пропанта со смоляным покрытием.

7. Примеси мелкозернистых частиц.

Это показатель, показывающий количество примесей в пропанте, таких как глина, ил или другие мелкозернистые материалы. Существенно уменьшит в пропанте проницаемость трещины разрыва увеличение содержания мелких частиц. Если пропант хорошо промыть и обработать, то тогда он не содержит большого количества мелкозернистых примесей. Рекомендуемый показатель 250 FTU .

8. Сопrotивляемость раздавливанию.

Определяет способность пропанта выдерживать определенную нагрузку под действием раздавливания, это и является относительной прочностью пропанта. Сопrotивляемость раздавливанию можно выразить процентным содержанием образованных мелких частиц.

Рекомендуемые АНИ максимальные пределы доли разрушенных гранул для различных фракций пропантов разные:

Для 12/60 - 16% при давлении раздавливания 3000 psi (204 атм);

Для 20/40 – 14% при давлении 4000 psi (272 атм);

Для 12/20 со смоляным покрытием – 25% при давлении 7500 psi (510 атм);

Для 16/20 со смоляным покрытием – 25% при давлении 10000 psi (680 Атм).

9. Сцепляемость.

Обозначает силу прикрепления отдельных зерен пропанта друг к другу. Измеряется массовой концентрацией в процентах.

10. Термохимическая стабильность.

Все применяемые пропанты должны быть, по возможности, химически инертны. Они должны противостоять агрессивной жидкостям и высоким температурам.

11. Потеря массы пропантов при прокаливании.

Пропанты с полимерным покрытием уменьшаются по массе после нагрева и выдержке при определенной температуре до постоянной массы, которое выражается в % [8].

1.2.3 Требования к керамическим пропантам

По физико-механическим показателям, гранулометрическому составу и форме пропанты должно соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.2 [9].

Таблица 1.2-Требования к основным свойствам пропантов

Наименование показателя	Норма для фракции				
	12/20	16/20	16/30	20/40	40/70
1 Насыпная плотность, г/см ³ , не более	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
2 Сопротивление раздавливанию (массовая доля разрушенных гранул), %, не более	25	25	25	10	8
3 Растворимость в кислотах, %, не более	8	8	8	8	8
4 Сферичность, не менее	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
5 Округлость, не менее	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
6 Гранулометрический состав, %, не более:					
остаток на сите:					
№ 8	0,1				
№ 12		0,1	0,1		
№ 16				0,1	
№ 30					0,1
проход через сито:					
№ 30	1,0	1,0			
№ 40			1,0		
№ 50				1,0	
№ 100					1,0
7 Массовая доля гранул основной фракции, %, не менее	90	90	90	90	90

1.3 Сырьевые материалы для получения алюмосиликатных керамических пропантов

В настоящее время, химический состав алюмосиликатных пропантов, состоит из глинозема (оксид алюминия) и кремнезема (оксид кремния) в

различных соотношениях. Они отвечают за эксплуатационные характеристики пропантов.

Чтобы обеспечить сохранение целостности гранул у пропантов на основе оксида алюминия обеспечивается прочность, выдерживающих при использовании снижающие напряжения до 10000 psi и более в зависимости от глубины залегания расклиниваемой трещины. SiO₂ оказывает большое воздействие на эластичность материала, имеющую определяющее значение для формования гранул для последующего отверждения – муллитизации. Не всегда достигается желаемый результат, даже при увеличении содержания данных оксидов. Гранулы из оксида алюминия с содержанием до 96 мас. % являются наиболее хрупкими, так как покрыты прочной оболочкой и имеют полую сердцевину, что снижает их практическое применение [10].

При помощи использования алюмосиликатного сырья данные компоненты вводят в шихту, содержание оксида алюминия больше 28% (глин, бокситов, каолинов и их смесей), а также техногенных отходов ввиду ее доступности и низкой себестоимости [11].

Для данной работы мы использовали аргиллитовую огнеупорную глину и высокожелезистый боксит.

Аргиллитовая глина, относящаяся к малопластичным глинам (число пластичности менее 15 единиц по Аттербергу), отличается сравнительно малым содержанием примесей и пригодна для производства высокоглиноземистых огнеупоров. По существу эта глина является полиминеральным сырьем, характеризуется низкой пластичностью и имеет в своем составе такие основные фазы, как каолинит, гидраргилит, галлуазит, а также высокое - до 8% содержание стеклообразующих оксидов [12].

Боксит – глиноземистая руда, состоящая из оксидов железа, гидроксидов алюминия и кремнезема, сырьё для получения глинозёма и алюмосиликатных огнеупоров. Глинозём в боксите содержится от 40 % до 60 % и выше.

Боксит состоит в основном из гидратов глинозема (Al_2O_3) (28 - 80%), постоянная составная часть - оксид железа (Fe_2O_3), с примесью других минеральных компонентов. Наиболее вредной примесью является кремнезем (SiO_2). Кроме этого бывают примеси - оксид кальция (CaO), диоксид титана (TiO_2), оксид магния (MgO), оксид фосфора (P_2O_5), оксид марганца (MnO) и др.

Боксит обладает следующими физическими свойствами :

- окраска: красный различного оттенка (от розового до темно-красного) и серый (от зеленовато-серого до темно-серого, почти черного),
- твердость до 6 баллов по Моосу,
- плотность: зависит от содержания оксида железа и колеблется в пределах 2900-3500 кг/м³,
- непрозрачен.

Одноводные гидраты глинозема (бемит и диаспор), и трехводный гидрат глинозема - гиббсит, сопутствующими - минералы группы гидроксида и оксида железа (гидрогетит, гетит, гидрогематит и др.), хлориты, каолинит, галлуазит, кальцит, все эти минералы относятся к породообразующимся

Существуют 3 группы бокситов, которые зависят от природы породообразующего минерала :

- моногидратные, содержащие глинозем в одноводной форме (диаспор, бемит),
- тригидратные, содержащие глинозем в трехводной форме (гиббсит),
- смешанные, в которых сочетаются обе формы.

Процессы латеритного выветривания кислых, щелочных, а иногда и основных пород или процессы осаждения в озерных и морских бассейнах существенных количеств Al_2O_3 , главным образом связано с образованием месторождений бокситов [13].

1.4 Процессы фазообразования керамических материалов из каолинов и огнеупорных глин

Развитие современной техники требует создание конструкционных материалов с более высокой прочностью, с улучшенными характеристиками в широком интервале температур.

Весьма ценным и перспективным материалом для современной техники является алюмосиликат - муллит. Это единственное в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ соединение, устойчивое при высоких температурах [11].

1.4.1 Характеристика системы $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

Данная система широко используется в технологии стеклокристаллических и термостойких материалов, а также в качестве основы для получения форстеритовых, периклазовых, корундовых, муллитовых и шпинельных огнеупоров. Обобщенная наиболее полная диаграмма состояния системы предложена Э. Осборном и А. Муаном, которая представлена на рисунке 1.1 [14].

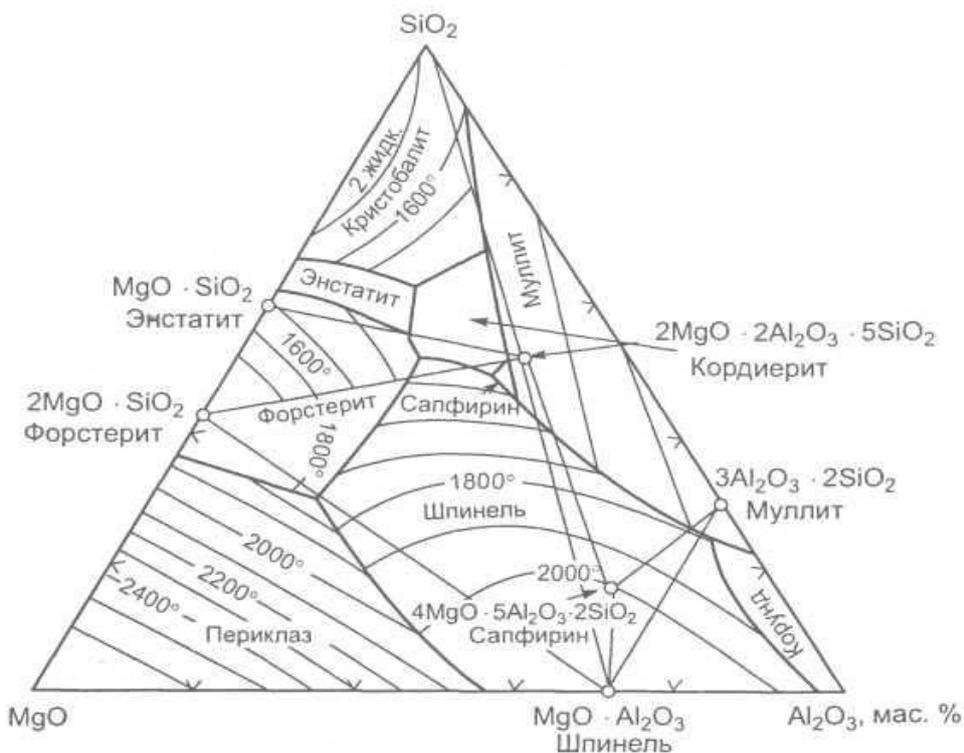


Рисунок 1.1 Диаграмма состояния системы $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

В диаграмме два тройных соединения: кордиерит $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ и сапфирин $4\text{MgO}\cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$.

Кордиерит- плавится инконгруэнтно при 1160°C , выделяя муллит и жидкую фазу. Полное плавление смеси, отвечающей составу кордиерита, наступает приблизительно при 1550°C .

Кордиерит имеет следующие фазы:

- 1) α -кордиерит, его получают при быстрой кристаллизации стекла, имеет гексагональную симметрию.
- 2) β -кордиерит, низкотемпературный, он получен длительной кристаллизацией ($\sim 950^\circ\text{C}$). Кристаллы выглядят как призмы.
- 3) осумилитовая фаза- в ходе кристаллизации стекла, образуется кордиеритоподобная метастабильная фаза.
- 4) «петалитовая» фаза-метастабильная, сходная в структурном отношении с петалитом.

В структуре кордиерита, имеются полости доступные для крупных катионов (Ca, Na, K, H_2O , CO_2), он широко применяется в качестве носителя катализаторов.

Кристаллическая структура кордиерита образована шестичленными кольцами из тетраэдров $[\text{SiO}_2]$ и $[\text{AlO}_4]$, соединенных вершинами. Кольца связываются 2-мя общими атомами кислорода, между ними возникает большой полый канал. Эти колонны колец соединяются четырехкоординированными ионами алюминия и шестикоординированными ионами магния [14].

Кордиерит не является огнеупорным (температура инконгруэнтного разложения 1465°C), но он имеет сравнительно низкое значение коэффициента термического расширения – $1,5\cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$. Поэтому кордиерит входит в состав масс некоторых огнеупоров в качестве связки для повышения их термостойкости. Поле кристаллизации кордиерита на тройной диаграмме состояния системы $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ граничит с полями

кристаллизации шести химических соединений: $MgAl_2O_4$, $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $4MgO \cdot 5Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $MgO \cdot SiO_2$ и SiO_2 .

Кордиерит склонен к образованию большого количества твердых растворов путем изоморфных замещений по двум схемам: по первой схеме катионы магния и кремния замещают два катиона алюминия и по второй схеме два катиона алюминия и катион магния замещают два катиона кремния. В результате возникают четыре вида кордиеритовых твердых растворов: кордиерит с избытком или недостатком кремнезема и кордиерит с избытком или недостатком глинозема. Кордиерит с избытком глинозема относится уже к огнеупорным материалам. При этом сохраняется низкое значение т.к.л.р. и соответственно – хорошая термостойкость [15].

В системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ при соотношении оксидов, отвечающих кордиериту (2 : 2 : 5), наиболее низкая температура плавления расплава составляет 1345 °С. Такой расплав эвтектического состава содержит 20,3 % MgO ; 18,3 % Al_2O_3 и 64,4 % SiO_2 , характеризуется весьма небольшой вязкостью, при этом его количество стремительно нарастает при увеличении температуры за счет растворения в нем примесей щелочноземельных элементов и щелочных оксидов, содержащихся, как правило, в сырьевых материалах. По этой причине контакт в службе алюмосиликатных и магнезитовых огнеупоров является совершенно недоступным [15].

Сапфирин - плавится инконгруэнтно при 1475°С с выделением шпинели $MgO \cdot Al_2O_3$. Имеет очень не большое поле кристаллизации. Относится к моноклинной системе.

Также необходимо отметить, что тройной соединение-минерал кубической сингонии пироп $3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$ добывается в недрах земли. Данное соединение можно отнести к группе гранатов, при этом оно не отмечается на диаграмме состояния.

$2MgO \cdot SiO_2$ и шпинель $MgO \cdot Al_2O_3$ образуют область кристаллизации путем двойных соединений. Кроме того, имеются поля кристаллизации SiO_2 , Al_2O_3 и MgO . В поле кристаллизации кристобалита есть область ликвации.

Наиболее легкоплавкая эвтектика с температурой 1335°C образована протозэнстатитом, кордиеритом и кремнеземом [14].

1.4.2 Характеристика структуры и свойства муллита

За счет характерных свойств, материалы на основе муллита применяются в различных сферах промышленной деятельности. Из-за своей войлочной структуры (беспорядочно распространены тонкие иголки), и дендритному строению, муллит прочен на сжатие, на разрыв и скалывания, что немаловажно для огнеупоров.

Из-за того что, муллит плохо растворяется в кислотах и щелочах и стоек к шлакам, расплавам, стеклам и другим корродиентам улучшается химическая стойкость алюмосиликатных огнеупоров по мере возрастания количества муллитовой фазы. Также повышается термическая стойкость изделия [15].

Муллит - минерал из класса силикатов, классического состава 3:2 имеет формулу $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и содержит 71,8% Al_2O_3 и 28,2% SiO_2 . При параметрах равных, нм: $a=0,7584$, $b=0,7693$, $c=0,577$, происходит кристаллизации в ромбической сингонии. Плавится конгруэнтно. Температура плавления 1910 °C. Истинная плотность 3,15 - 3,18 г/см³. Среднее значение коэффициента линейного расширения $6,2 \cdot 10^{-6} \cdot \text{°C}^{-1}$. Теплопроводность (средняя) 3 - 3,5 Вт/(м• °C). Муллит чаще всего имеет две кристаллические формы: игольчатые и призматические.

Химическими методами чистый муллит при минимальном содержании примесей можно получить, а также из высокодисперсных и высокочистых SiO_2 и Al_2O_3 только путем синтеза [16].

1.5 Способы активации процесса спекания алюмосиликатной керамики

Спекание – это процесс уплотнения и упрочнения пористых порошковых изделий под влиянием термической обработки, который сопровождается увеличением плотности и усадки, уменьшением пористости, изменением их характеристик компактного материала [17].

Увеличение контакта между частицами приводит к упрочнению материала при спекании. В процессе спекания имеют место быть следующие процессы: изменение форм пор и линейных размеров; образование жидкой фазы; рост кристаллов; снижение и выравнивание остаточных напряжений после прессования; пространственное перераспределение фаз, уменьшение концентрации дефектов в кристаллических фазах и др.

Полиморфные превращения некоторых фаз, образующиеся в ходе реакций новые фазы и твердые растворы, а также химические реакции в твердых фазах или реакции при участии жидкие фазы, сопровождают процесс спекания.

Последующие охлаждение сопровождающиеся возможными обратными процессами такими как: кристаллизация расплава и возможно возникновение кристаллизационного давления, образование стеклообразной фазы, полиморфные превращения и другими явлениями, что приводит к осложнениям в процессе спекания. Брак изделий и макродефекты возникают в структуре материала при попеременном повышении и понижении температуры обжига.

Все выше упомянутые процессы являются функцией температуры концентрации фаз и градиента концентраций, ее градиента в теле материала, скорости изменения температуры, газовой среды, действия поля высокой частоты, вибрации и других условий. Даже неполное перечисление процессов, дает картину исключительно сложного явления.

При производстве керамических материалов обычно ставится цель ускорения спекания и спекания до более низких значений пористости

изделий. На спекание влияют ряд технологических факторов: химические, механические и теплотехнические.

При измельчении материала можно наблюдается активирование механического фактора. Значение кривизны частиц и свободной энергии, повышается в следствии измельчения материала, тогда как путь диффузии уменьшается и оказывает благоприятное воздействие на спекание.

В тепловом активированном спекании на скорость и на достижение спеченного состояния материала, влияет максимальная температура спекания и скорость подъема температуры [15].

1.6 Технологические особенности получения керамических пропантов

Сырье доставляется из карьера на склад сырья цеха автомобильным транспортом отдельно по сортам и маркам. Всё сырье, используемое для производства, хранится на складе на специально отведенных площадках. Места складирования глин (конуса) обозначаются табличками с указанием месторождения и сорта глины. Одновременно на складе хранятся не более четырех марок глинистого сырья. Хранение осуществляется в условиях, исключающих смешивание сырья между конусами, загрязнение посторонними включениями и дополнительное увлажнение.

На складе сырья глину ковшами грейферного крана подают в загрузочный бункер стругача, в котором её дробят до кусков максимального размера не более 150 мм (рисунок 1.2).

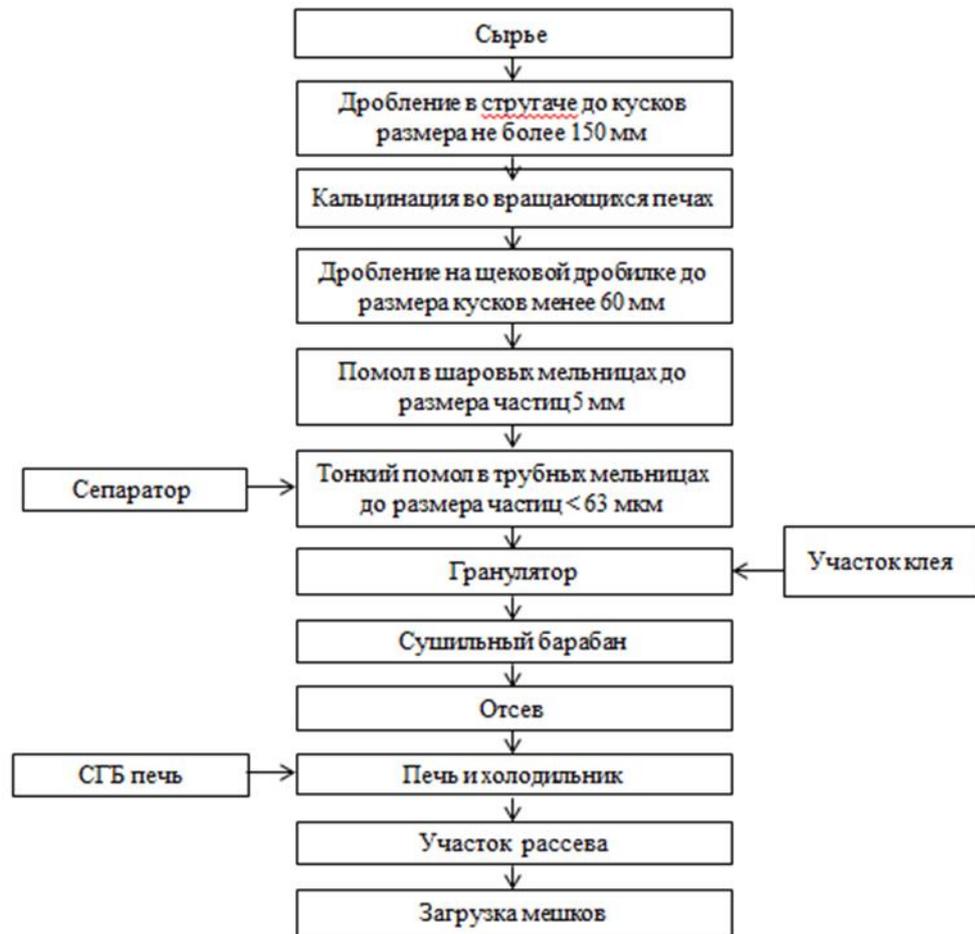


Рисунок 1.2-Технологическая схема получения пропантов

Допускаются отдельные куски размером в одном измерении не более 380 мм. Крупность кусков дробленой глины регулируют установкой ножей режущего диска стругача. Дробленое сырье непрерывным потоком подают к вращающейся печи системой ленточных транспортеров, оборудованных ленточными весами ЭКВ-4Д (или ЛТМ-1М) для взвешивания, поступающего в печь сырья.

Обжиг огнеупорного сырья на шамот производится во вращающихся печах, работающих на природном газе. Температурный режим и режим загрузки сырья в печь должен обеспечивать получение шамота данной марки. Обожженный шамот из печи поступает в холодильник, где охлаждается воздухом и распыляемой через форсунку водой. Куски шамота размером

более 60 мм подвергаются дроблению на щековой дробилке, установленной на выходе из холодильника, до кусков менее 60 мм.

Шамот с водопоглощением менее регламентированного норматива на момент обжига складывается в отдельные конуса. Шамот водопоглощением более регламентированного норматива (недогар) подается на повторный обжиг вместе с глиной соответствующей марки.

Кусковой шамот фракции менее 60 мм подвергают измельчению до размера кусков менее 5 мм в шаровых мельницах. Зерновой состав регулируется загрузкой мельницы материалом и мелющими телами, а также системой установленных сит. Затем материал подвергается тонкому помолу в трубных мельницах, на выходе из которых получают порошок тонкостью менее 63 мкм. На данном этапе зерновой состав контролируется путем отбора пробы из мельницы с последующим её отмытием на соответствующем сите.

Трубные мельницы работают в замкнутом цикле с сепаратором. Сепаратор предназначен для разделения порошка, полученного в мельницах на две фракции (по крупности частиц), в результате комбинированного воздействия на него массовых сил (силы тяжести и центробежной).

Смесь сыпучих материалов делятся на классы, за счет разного воздействия аэродинамических и массовых сил. Данное разделение влияет на частицы различных размеров и, соответственно, более высокой скорости движения крупных частиц. Силы, действующие на частицы разных размеров и их движения в различных направлениях обеспечиваются регулированием схем аппаратов. В динамическом равновесии находятся частицы граничного размера, которые попадают в крупную или мелкую фракцию в зависимости от режима колебаний движения газового потока смеси. Конструкционное отличие сепараторов третьего поколения заключается в наличии ротора сепаратора. На частицы исходного материала, в кольцевом пространстве между ротором и направляющими лопатками, действуют следующие силы: центробежная сила, пропорциональная массе частицы, сила напора

первичного и вторичного потоков воздуха, пропорциональная поверхности частиц, сила вихревого потока воздуха, создаваемого ротором и сила веса частицы. Действие данных сил способствует полному выносу из материала внутри ротора мелких частиц, а оставшаяся масса крупных частиц, по поверхности направляющих лопаток поступает в камеру.

Тонкомолотый порошок пневмотранспортом подается в бункера над грануляторами. В гранулятор подается водный раствор КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза) с заданной концентрацией, которая подготавливается в реакторах специального отделения.

После гранулирования материал подвергается сушке в сушильном барабане с последующим рассевом, в результате которого выделяется целевая фракция, подаваемая на обжиг. Гранулы, несоответствующие по гранулометрическому составу, отправляются на рецикл в отделение помола.

Следующая после отсева операция – спекающий обжиг. Он проводится во вращающихся печах при температуре порядка 1450°C. После обжига материал охлаждается в холодильнике, расположенном под печью, до температуры <60°C.

Охлажденный пропант подается на участок отсева готовой продукции, где из него выделяются целевые фракции. Продукт, соответствующий требуемым размерам гранул, отправляется на участок упаковки, где фасуется в контейнеры типа «биг-бэг». Фасовка осуществляется на весовых площадках. Гранулы, неудовлетворяющие требованиям по размеру (обожженные отходы), отправляются в рецикл в отделение помола.

Расфасованный по фракциям в мешки пропант отправляется на склад готовой продукции, где лаборанты ОТК отбирают пробы готовой продукции, которые затем исследуются на предмет соответствия ГОСТ Р51761-2005. От каждой партии отбирают мгновенные пробы пропантов. Лабораторную пробу массой в 5 кг получают путем объединения пробы массой не менее 0,3 кг и путем их деления и сокращения. Характеристики, определяемые у каждой партии: насыпная плотность, сопротивление раздавливанию,

сферичность и округлость (визуальная оценка формы гранул пропантов, увеличенных с помощью микроскопа), гранулометрический состав, доля гранул основной фракции по массе. Характеристики, определяются у каждой двадцатой партии: массовая доля оксидов алюминия и железа, сферичность и округлость, растворимость в кислотах. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов проверяют от каждой пятисотой партии, но не реже чем 2 раза в год [18].

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Для того чтобы получить объективные результаты с небольшой погрешностью, необходимо использовать современные методы исследования.

При исследовании использовался рентгенографический анализ, синхронный термический анализ, химический анализ и другие. Определялись при нагревании физико-химические особенности и технологические свойства сырья, масс и готовых изделий.

2.1 Рентгеновский анализ

В основе рентгенофазового анализа лежит физическое явление – дифракция (рассеяние) рентгеновских лучей на кристаллической решетке при определенных углах падения и длинах волн. Суть метода основана на исследовании дифракционной картины, которая возникает при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов. Для количественной оценки используется уравнение Вульфа — Брэгга:

$$2d \cdot \sin\theta = n\lambda , \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние, нм; θ – угол падения луча на плоскость, град.; n – порядок дифракции (целое число); λ – длина волны монохроматического излучения, нм.

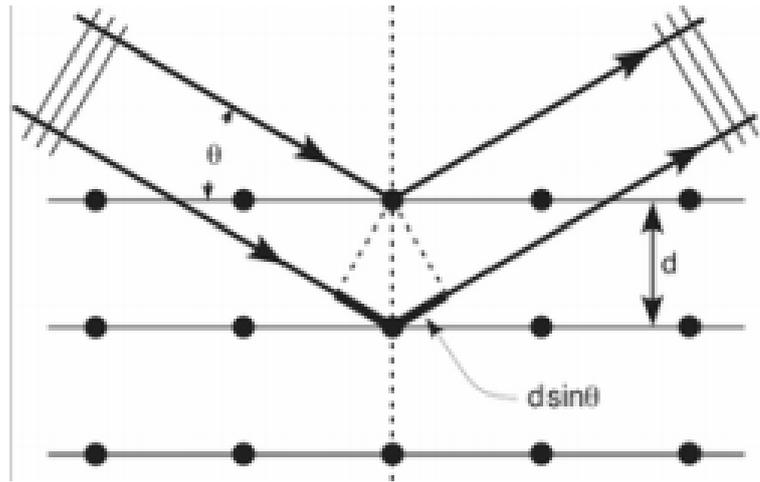


Рисунок 2.1 – Схема падения и отражения рентгеновского луча

Для определения фазового состава исследуемого материала рассчитывают величину межплоскостного расстояния d и относительную интенсивность рефлекса на рентгенограмме, величина длины волны λ является заданной и имеет постоянное значение.

Если рентгеновские характеристики сравнить с табличными значениями, то полученный набор основных рефлексов и чистые кристаллические фазы исследуемого образца определяется фазовый состав готового керамического материала или вещественный состав сырьевых материалов.

Рентгенографическое исследование минералогического состава исследуемых пород проводились на дифрактометре ДРОН-3,0.

2.2 Определение кажущейся плотности и водопоглощения обожженных образцов

Кажущаяся плотность – это отношение массы тела ко всему занятому объему, включая поры. Выражают в г/см^3 , кг/м^3 .

Водопоглощение – это отношение массы воды, поглощенной пористым телом при его полном насыщении, к массе сухого образца. Выражается в процентах.

Испытания проводят по следующей методике. Берут три образца, взвешивают на технических весах с точностью до сотых грамм. Кипячение

либо метод вакуумирования применяют для полного насыщения пор жидкостью.

В данной работе использовался метод кипячения. Сухие образцы помещают в сосуд 1, заливают водой и ставят на плитку. С момента закипания воды, засекаем время (2 часа), и в течение всего времени следим, чтобы исследуемые образцы находились под слоем воды.

На гидростатических весах взвешивают образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном в воду состоянии.

При взвешивании образец достают из сосуда 1 и вынимают с последующим обтиранием влажным полотенцем, во избежание потери влаги, образец после взвешивания помещают в сосуд 2 до полного погружения.

Величина кажущейся плотности рассчитают с точностью до 0,001 г/см³, а величина водопоглощения с точностью до 0,1%.

Водопоглощение и кажущейся плотность находится по формулам :

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \quad (2.2)$$

$$\rho = \frac{m \gamma_{ж}}{m_1 - m_2}, \quad (2.3)$$

где m – масса сухого образца при взвешивании на воздухе, в г;

m_1, m_2 – масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании, соответственно, на воздухе и в жидкости, в г;

$\gamma_{ж}$ – плотность используемой жидкости, в г/см³ [17].

2.3 Определение воздушной и огневой усадки

При сушке керамических изделий, которая содержит технологическую связку, происходит уменьшение в объеме, особенно значительно для содержащего глину полуфабриката, полученного пластическим формованием. Этот процесс называется воздушной усадкой.

В процессе сушки изменение размеров изделий происходит в результате сближения частиц под действием сил капиллярного и осмотического давления, а также межмолекулярного притяжения, развивающихся по мере испарения расположенных между ними водных прослоек. Так же немало важную роль в усадке играет уменьшение собственного объема частиц, глинистых минералов, содержащих межплоскостную воду.

Значительная усадка в процессе сушки является одна из причин их коробления и растрескивания, которая происходит в результате действия внутренних напряжений, превышающих силы связности керамической массы.

По линейным измеренным размерам образца после сушки определяют воздушную линейную усадку [17].

Воздушная усадка прямо пропорциональна пластичности глин, также можно рассматривать осушительных свойствах глинистого сырья. Глина чувствительна к сушке, когда у нее большая величина усадки.

Глинистые материалы обычно имеют 6-10 % воздушной усадки. Отопление глин песком, шамотом и др. понижает воздушную усадку. Усадка зависит от состава и свойств глин, от условий сушки. Например, при медленной сушке в естественных условиях размер образцов будет больше, чем при искусственной сушке, где сравнительно быстро поднимается температура.

Мало- и непластичные глины имеют усадку – менее 6%, высоко- и среднепластичные более 10%, умереннопластичные от 6 до 10%.

Воздушная усадка глинистых масс обычно определяют в соответствии с ГОСТ 19609.20-89. Из пласта глины, раскатанного деревянной или металлической скалкой, вырезают плитки размером 50×50 мм. Наносят насечки на образцы во взаимно перпендикулярных направлениях. После высушивания штангенциркулем замеряется расстояние между метками. Воздушная усадка рассчитывается по формуле :

$$\alpha_{лин}^B = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \cdot 100, \quad (2.4)$$

где l_0 - расстояние между метками у сформованного образца, 50мм;

l_1 - расстояние между метками у высушенного образца, мм.

Огневая усадка – изменение линейных размеров образца при обжиге, выраженное в процентах:

$$\alpha_{лин}^{ог} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100, \quad (2.5)$$

где l_1 - расстояние между метками у высушенного образца, мм;

l_2 - расстояние между метками у образца после обжига, мм.

Определения проводят не менее чем на трех образцах, вычисляют как среднеарифметическое [17].

2.4 Определение предела прочности при сжатии обожженных образцов

Этот метод заключается в фиксировании максимального напряжения, которое они способны вынести без разрушения.

Прочность при сжатии – это максимальное сжимающее напряжение, способное выдержать образец до разрушения. Используются образцы, обожженные при разных температурах. Для определения площади образцы замеряют штангенциркулем.

Образец устанавливается в центре опорной плиты и прижимается верхней плитой пресса, которая должна плотно прилегать ко всей верхней грани образца. Нагрузка на образец должна увеличиваться непрерывно и равномерно. Снимается максимальное показание манометра. Предел прочности при сжатии измеряется в МПа и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P \cdot S}{a \cdot b} \cdot 0,1, \quad (2.6)$$

где P – показания манометра, кгс/см²;

S – площадь поршня, см²;

$a \cdot b$ – площадь образца, см² [17].

2.5 Определение насыпной плотности пропантов

Для пропантов один из важных показателей является насыпная плотность. По плотности пропанты подразделяются: легкие, облегченные и среднеплотные. При закачке пропанта в трещину гидроразрыва пласта, для исключения его оседания, необходимо учитывать вязкость и плотность жидкости разрыва. Также из насыпной плотности определяется проводимость, проницаемость и прочность.

Метод определения насыпной плотности заключается в следующем. Мерный сосуд взвешивают до второго знака, к нему прикладывают воронку. Сосуд заполняют пропантами при свободном падении до отметки 100 см³ без дополнительного встряхивания и трамбования, с последующим взвешиванием. Насыпную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_n = (m_2 - m_1) / 100, \quad (2.7)$$

где m_1 – масса сосуда, г;

m_2 – масса сосуда с пропантами, г;

100 – объем пропантов в сосуде, см³.

Результатом испытаний является среднее арифметическое значение 2-х параллельных чисел при определенном заданном удельном давлении.

2.6 Определение сопротивления пропантов к раздавливанию

Сопротивление раздавливанию – является прочностной характеристикой пропанта, которая определяется совершенством структуры материала, распределением фаз, наличием в ней дефектов, а также полной

выраженности границ их соприкосновения. При соприкосновении возможно разрушение частиц за счет приложения нагрузки.

По массовой доле гранул определяют сопротивление раздавливанию, которые под действием сжимающей нагрузки определенной величины разрушаются.

В течение десяти минут пробу пропантов просеивают на вибросите, через набор сит номером: 12 и 20 (фракции 12/20); 16 и 20; 16 и 30; 20 и 40; 40 и 70.

Пропанты, прошедшие через самое мелкое сито и непрошедшие самое крупное, не пригодны для испытаний, а остальные принимают участие в дальнейших испытаниях.

Из восьми навесок проводят серию испытаний: по две параллельных навески при удельных давлениях 51,7; 68,9; 86,1; 103,3 Н/мм² [9].

До начала испытаний, необходимо взвесить массу пропантов:

$$m = \frac{1,22\pi\rho_n D^2}{4}, \quad (2.8)$$

где 1,22 – объем пропантов, который должен быть загружен на 1 см² площади дна приспособления для раздавливания, см³;

ρ_n – насыпная масса, г/см³;

D – внутренний диаметр приспособления для раздавливания, см.

Полученное количество просеянных пропантов взвешивают на весах с точностью до 0,1 г, далее заполняют им аппарат для раздавливания, для обеспечения максимально ровной поверхности пропантов перемещают точку истечения. Поворотом пуансона на 180° выравнивают поверхность загруженных пропантов, это не требует больших усилий. Следующим шагом аппарат для раздавливания помещают в машину, где происходит испытание на сжатие. В течение одной минуты образец полностью погружают до заданного удельного давления, которое поддерживают в течение двух минут. После завершения аппарат снимают с испытательной машины и кисточкой

переносят содержимое на набор сит. После завершения процесса отсева на вибросите взвешивают на весах раздавленные гранулы.

Определяют долю разрушенных гранул по формуле:

$$f = \frac{m_2}{m_1} 100, \quad (2.9)$$

m_2 – масса разрушенных гранул, г;

m_1 – масса гранул до испытания, г;

Результатом испытаний является среднее арифметическое значение 2-х параллельных чисел при определенном заданном удельном давлении [9].

2.7 Определение сферичности и округлости пропантов

Сферичность и округлость пропантов из пробы определяют следующим образом: на белый лист бумаги насыпают пропанты, который перемещают на предметный столик микроскопа. Проводят визуальный осмотр, используя диаграмму Крамбейна.

На рисунке 2.1 представлено графическое изображение формул гранул.

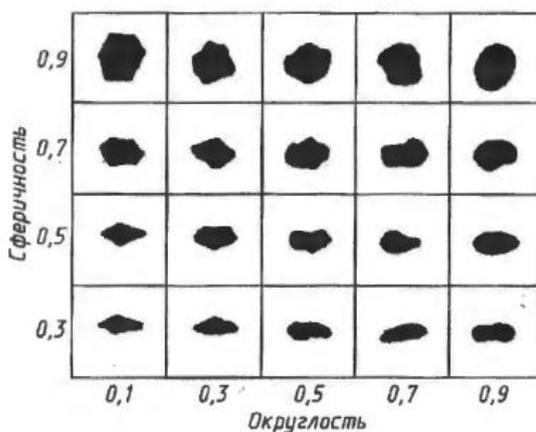


Рисунок 2.1 – Диаграмма для визуального определения сферичности и округлости.

Результатом испытаний является среднее арифметическое показание. Керамические пропанты имеют показатели в диапазоне 0,8 – 0,9; песка – 0,7 [9].

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г21	Бурыхиной Миле Андреевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ТСН
Уровень образования	бакалавриат	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	Рассчитана стоимость исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Премимальный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Доступность исходного сырья, экологичность, теплоизоляционные свойства, прочность, энергоэффективность.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет основной заработной платы, баланс рабочего времени, общая стоимость оборудования и материалов, отчисления во внебюджетные фонды.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Верховская М.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Бурыхина Мила Андреевна		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основной продукт получаемый в ходе научно-исследовательской работы на предприятии является керамический пропант.

Керамические пропанты используются только в одной отрасли, в нефтедобывающей промышленности, для увеличения нефтеотдачи.

Ежегодное потребление пропантов составляет 2,2 – 2,4 миллионов тонн. Из них 2 млн тонн, это кварцевый песок, смолопокрытый песок 180 тысяч тонн и керамические пропанты составляют 200 тысяч тонн ежегодно, но они имеют самую высокую стоимость из всех, это 650-750 долларов за тонну.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка по виду применения материала.

		Вид изделия		
		Кварцевый песок	Смолопокрытый песок	Керамические пропанты
Размер компании	Крупные	+	-	-
	Средние	+	+	+
	Малые	-	+	+

Как видно из приведенной карты сегментирования, наибольший сегмент занимает производство кварцевого песка. Они используются на производствах различного масштаба.

5.2 SWOT-анализ

Базовым рынком сбыта продукции является рынок Российской Федерации и США и Бразилия.

SWOT-анализ используют для исследования внешней и внутренней среды проекта .

Таблица 5.2. SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	1. Повышение качества продукта. 2. Безопасность технологии. 3. НИ ТПУ ведущий институт в области разработки функциональной и конструкционной керамики. 4. Экологичность.	1. Высокие требования к продукту 2. Большие энергозатраты на производство 3. Малый рынок сбыта из-за конкуренции с большими зарубежными фирмами
Возможности:	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности» 1. Разработка новой технологии получения пропантов с более лучшими показателями качества.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности» 1. Выбор и подбор исходного сырья с учетом добавок.
1. Производство новых видов продукции для нужд текущих и новых потребителей. 2. Освоение новых сегментов рынка керамики. 3. Инновационные достижения в области керамики.		

<p>Угрозы:</p> <p>1. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>2. Производителей с более развитыми технологиями и низкими издержками.</p> <p>3. Потеря спроса.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <p>1. Совершенствование методики, в соответствии с конкурентным преимуществами.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</p> <p>1. Совершенствование технологии в соответствии с конкурентным преимуществами.</p>
--	--	--

5.3 Анализ конкурентных технических решений

На сегодняшний день основные производители синтетических керамических пропантов это США (Cardo Ceramics, Norton Alcoa) и Бразилия (Sintex). В России ведущими производителями является “Боровичский комбинат огнеупоров” находится в Новгородской области, “Форэс”(Свердловская область), “Трехгорный керамический завод”(Челябинская обл.) и другие.

Таблица 5.3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (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. Повышение производительности труда пользователя	0,04	3	5	3	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,06	5	5	5	4	4	5
3. Помехоустойчивость	0,02	3	5	5	4	5	5
4. Энергоэкономичность	0,03	4	5	5	4	5	4
5. Надежность	0,04	4	4	5	5	4	3
6. Уровень шума	0,06	4	5	4	3	4	5

7. Безопасность	0,03	4	4	4	4	4	4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,01	4	5	5	4	5	5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02	5	5	5	5	5	5
10. Простота эксплуатации	0,03	3	4	4	3	4	4
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	4	4	5	4	5	4
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,01	5	4	5	5	4	5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	4	4	4	4	4
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	4	5	3	4	5	5
3. Цена	0,04	4	4	5	4	4	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	3	3	3	5	5
5. Послепродажное обслуживание	0,03	4	5	5	5	5	5
6. Финансирование научной разработки	0,04	4	4	4	4	4	4
7. Срок выхода на рынок	0,04	4	5	4	5	4	5
8. Наличие сертификации разработки	0,06	4	4	4	4	4	4
Итого	1	80	89	83	88	88	89

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot F_i, \quad (9)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

В ходе научной работы образуется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и

лаборанты. Для каждого работника имеется своя должность и у каждого запланирована своя работа.

Распределения работников по виду работы, соответствует свой порядок этапа работы приведен в табл. 5.4

Таблица 5.4 – Порядок этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент
Выбор направления Исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, Студент
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, Студент

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Проведение ВКР			
Изготовление и испытание опытного образца	11	Получение опытных образцов	Студент, руководитель
	12	Лабораторные испытания опытных образцов	Студент, руководитель
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Студент

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (10)$$

где, $t_{ожі}$ – наиболее вероятное время в течение, которого должна быть выполнена работа, чел-дни.

Продолжительность любой работы в рабочих днях T_p , определяется из ожидаемой трудоемкости работ, так же учитывается параллельность выполнения работ некоторыми исполнителями. Формула ее:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (11)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дней.

5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Исходя из этого можно сделать вывод что более удобным будет построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (12)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (13)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году.

В 2016 году 366 календарных дней, из них выходных и праздничных дней 119. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 119} = 1,48$$

Таблица 5.5 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	Т _р , раб. дн.		Т _р , кал. дн.	
	t _{min} , чел-дн.		t _{max} , чел-дн.		t _{ож} , чел-дн.			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2					
Составление технического задания	0,2	0,2	1	1	0,5	0,5	Р	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,2	0,2	1	1	0,5	0,5	С	0,1	0,1	0,1	0,1

Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	Т _р , раб. дн.		Т _р , кал. дн.	
	t _{min} , чел-дн.		t _{max} , чел-дн.		t _{ож} , чел-дн.			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2					
Выбор направления исследований	0,5	0,5	2	2	1	1	Р	0,5	0,5	0,6	0,6
	0,5	0,5	2	2	1	1	С	0,5	0,5	0,6	0,6
Подбор и изучение материалов	5	5	10	10	7	7	Р	3,5	3,5	4,2	4,2
	5	5	10	10	7	7	С	3,5	3,5	4,2	4,2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,8	0,8
	1	1	2	2	1,4	1,4	С	0,7	0,7	0,8	0,8
Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	5	5	3,8	3,8	С	1,9	1,9	2,3	2,3
Проведение экспериментов	5	5	8	8	6,2	6,2	С	3,1	3,1	3,7	3,7
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	2	3	3	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,4	1,4
	3	3	5	5	3,8	3,8	С	1,9	1,9	2,3	2,3
Оценка полученных результатов	3	3	4	4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	2	2
	5	5	6	6	5,4	5,4	С	2,7	2,7	3,2	3,2
Приготовление опытных образцов	3	3	4	4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	2	2
	14	14	28	28	19,6	19,6	С	9,8	9,8	12	12
Испытания опытных образцов Испытания опытных образцов	3	3	4	4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	2	2
	5	5	7	7	5,8	5,8	С	2,9	2,9	3,5	3,5

Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	Т _р , раб. дн.		Т _р , кал. дн.	
	t _{min} , чел-дн.		t _{max} , чел-дн.		t _{ож} , чел-дн.			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2					
Составление пояснительной записки	13	13	16	16	14, 2	14, 2	С	14	14	17	17

Р – руководитель

С – студент

На основе таблицы 5.6 был построен календарный план-график в виде диаграммы Ганта.

Таблица 5.6 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ												
			Февраль		Март			апрель			май				
Составление технического задания	Руководитель, студент	0,1	■												
Выбор направления исследований	Руководитель, студент	0,6	■												
Подбор и изучение материалов	Руководитель, студент	4,2		■											
Календарное планирование работ	Руководитель, студент	0,8			■		■								
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	2,3					■								
Проведение экспериментов	Бакалавр	3,7						■							
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент	1,4 2,3							■						
Оценка полученных результатов	Руководитель, студент	2,0 3,2								■					

5.4.4 Расчет материальных затрат НИИ

Формула расчет материального затрата:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (14)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м²);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м²);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы варьируется от 15 до 25 процентов от стоимости материалов.

Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НИИ представлены в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Затраты на материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Z_m , руб.
Мазут М100	Л	1	300	360
Глина	Кг	2,4	11	31,68
Боксит	Кг	2,4	14	40,32
Оксид железа	Кг	0,6	50	36
Оксид	Кг	0,24	190	54,72

марганца				
Оксид магния	Кг	0,24	96	27,65
Итого				550,37

5.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме. Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{C_n \cdot H_a \cdot n}{100 \cdot k} \quad (15)$$

Где C_n – первоначальная стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации, %;

n – число проработанных месяцев;

k – количество месяцев в году.

Число проработанных месяцев n берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1248 ч = 1,73 месяца.

Таблица 5.8- Расчет амортизации оборудования

Наименование оборудования	C_n , руб	H_a , %	A , руб
Весы аналитические Веста В153	15000	10	216
Пресс гидравлический	15000	8	173
Щековая дробилка ШД-10	250000	10	3604
РФА- установка ДРОН-3М	180000	12	3114
ДТА- установка STA 449 F3 Jupiter	3000000	12	51900
Печь камерная	70000	12	1211
Итого:	–	–	60218

Затраты на электроэнергию учитываются только на технологические цели, так как затраты на освещение и другие цели связаны с общеустановленными расходами.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Z_э = N \cdot T \cdot C \quad (16)$$

Где N – потребляемая мощность установки, кВт;

T – время работы оборудования, ч;

C – стоимость 1кВт·час электроэнергии (3,09 руб.).

Таблица 5.9. – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	N, кВт/ч	T, ч	Затраты, руб.
Весы аналитические Веста В153	0,4	24	29,7
Пресс гидравлический	3,5	24	259,6
Щековая дробилка ШД-10	2,2	0,3	2
РФА- установка ДРОН-3М	1,5	6	27,81
ДТА- установка STA 449 F3 Jupiter	1,5	3	14
Печь камерная	3	168	1557,36
Итого:	–	–	1890,5

5.4.6 Основная заработная плата исполнителей темы

Включается основная и дополнительная заработная плата. Туда входят так же премия, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере от двадцати до тридцати процентов от тарифа или оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (17)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (18)$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (19)$$

В таблице 4.9 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 5.10 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	140	140
Количество нерабочих дней		
выходные дни:	16	16
праздничные дни:	6	6
Потери рабочего времени		
отпуск:	0	0
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (20)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Таблица 5.11 - Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$, руб.	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель							
ППСЗ	26000	0,3	1,3	54080	513,3	50	25665
Бакалавр							
ППС1	9000	0,3	1,3	18720	165	100	16500

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 5.12.

Таблица 5.12 - Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	25665	5133	30798
Бакалавр	16500	1650	18150

5.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений(медицинское страхование, пенсионный фонд) определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (21)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	25665	5133
Бакалавр	16500	1650
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,305	
Итого:	14929,15	

5.4.8 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4) \quad (22)$$

Величину коэффициента накладных расходов $k_{нр}$ допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НИИ составляют 19443,5 руб.

5.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 5.14.

Таблица 5.14 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
1. Материальные затраты НИИ	550,37		табл. 5.7
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	60218		табл.5.8
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	25665	16500	табл.5.11
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5133	1650	табл.5.12
5. Отчисления во внебюджетные фонды	14925,15		табл.5.13
6. Накладные расходы	19942,64		16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	144584,16		Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 5.14 основные затраты НИИ приходятся на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (14)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается как:

$$I_{\text{р}i} = \sum a_i \cdot b_i \quad (15)$$

где $I_{\text{р}i}$ – интегральный показатель ресурсоэффективности;

Таблица 5.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,10	3	3	3
2. Удобство в эксплуатации	0,25	4	5	5
3. Надежность	0,15	5	4	5
4. Воспроизводимость	0,25	5	5	5
5. Материалоемкость	0,25	5	3	3
ИТОГО	1	4,4	4,0	4,2

Вывод: сравнив значения интегральных показателей эффективности, сделали вывод, что более продуктивной версией решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является исполнение 1.

Список публикаций студента

1. Потапова А. П. , Киснер А. С. , Бурыхина М. А. , Говорова Л. П. Влияние добавок диабазовой и гранитоидной пород на спекаемость легкоплавкого глинистого сырья // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией , Томск, 6-10 Апреля 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015 - Т. 2 - С. 312-314 [1047911-2015]