

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
Исследование процессов получения магнезиально-силикатных пропантов на основе серпентинитовых пород

УДК 661.86:666

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Киснер Анна Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Вакалова Татьяна Викторовна	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТСН	Погребенков Валерий Матвеевич	Д.Т.Н.		

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	Киснер Анна Сергеевна

Тема работы:

Исследование процессов получения магнезиально-силикатных пропантов на основе серпентинитовых пород	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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	Киснер Анна Сергеевна		

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности
P2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий
P6	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>	
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

квалификационная работа

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Составил преподаватель:

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 магнезиально – силикатного сырья на основе серпентинитовых пород, включая их изменения при нагревании.

Ключевые слова: магнезиально – силикатные пропанты, серпентинит, огнеупорная глина, диаграмма состояния $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, фазообразование, спекание.

В первой части работы приведены общие сведения об особенностях получения, свойствах и области применения магнезиальных 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 магнезиально – силикатного сырья на основе серпентинитовых пород в качестве основного сырья для получения магнезиальных пропантов.

Оглавление

Введение.....	
1. Литературный обзор	
1.1 Назначение и условия службы пропантов.....	
1.2 Свойства и характеристика пропантов	
1.2.1 Классификация пропантов	
1.2.2 Свойства пропантов	
1.2.3. Требования к керамическим пропантам	
1.3 Сырьевые материалы для получения магнезиально - силикатных керамических пропантов	
1.4 Процесс фазообразования керамических материалов измагнезиально – силикатного сырья.	
1.4.1 Характеристика системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$	
1.4.2 Характеристика структуры и свойств кордиерита, энстатита и форстерита	
1.5 Способы активации процесса спекания магнезиально - силикатной керамики.....	
1.6 Тепловое активирование спекания	
2. Методы исследования основных характеристик сырьевых материалов и изделий на их основе	
2.1 Рентгеновский анализ.....	
2.2 Определение кажущейся плотности и водопоглощения	
2.3 Определение воздушной и огневой усадки.....	
2.4 Определение предела прочности при сжатии обожженных образцов	
2.5 Определение насыпной плотности пропантов.....	
2.6 Определение сопротивления пропантов к раздавливанию.....	
2.7 Определение сферичности и округлости пропантов.....	
3 Экспериментальная часть.....	

4.	Социальная ответственность	
4.1	Введение.....	
4.2	Производственная безопасность	
4.3	Экологическая безопасность.....	
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	
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 НТИ	
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 магнийсиликатные 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.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Назначение и условия службы пропантов

Пропант от англ. «propping agent» — «расклинивающий агент» — материал, в виде гранул, который используется в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности отдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта (ГРП). Служит для закрепления (предотвращения смыкания под действием горного давления) трещин, создаваемых в ходе ГРП [1].

Гидравлический разрыв пласта представляет собой механическое воздействие на продуктивный пласт, в результате которого порода разрывается по плоскостям минимальной прочности под действием избыточного давления, создаваемого закачкой в скважину жидкости разрыва. После разрыва под воздействием давления жидкости трещина увеличивается, возникает ее связь с системой естественных трещин, не вскрытых скважиной, и с зонами повышенной проницаемости. В образованные трещины жидкостями разрыва транспортируют зернистый расклинивающий материал (пропант), закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления [1].

Проппанты (расклиниватели) представляют собой прочные сферические гранулы, с типичным диаметром от 0,5 до 1,2 мм. В качестве пропантов используются различные органические и неорганические материалы, среди которых наиболее применяемыми являются природный песок с полимерным покрытием или без него, а также керамические пропанты. Расширение спроса на пропант, продиктованное увеличением добычи углеводородов, требует создания продукта с регулируемыми показателями плотности, прочности, сферичности/округлости, а также производства расклинивающих агентов, обладающих уникальными

свойствами. Например, с целью увеличения проницаемости проппантной пачки на поверхности гранул формируют выступы определенного размера или с целью снижения насыпной плотности проппанта внутри каждой отдельно взятой гранулы создают изолированные поры контролируемого размера и т.д. [2].

Более 85% используемых в настоящее время проппантов представляют собой такие простые материалы, как специально рассеянный для получения необходимого гранулометрического состава, кварцевый песок, добываемый на природных месторождениях, а также его более прочную разновидность - песок с полимерным покрытием. Однако, по мере истощения легкодоступных запасов углеводородов, добывающие компании вынуждены интенсифицировать разведку и разработку труднодоступных месторождений, что предполагает все более широкое применение высокопрочных керамических проппантов с высокими показателями сферичности и округлости. Вместе с тем указанные характеристики проппанта оказались явно недостаточными для увеличения полноты извлечения продукта из скважины. Поскольку после проведения ГРП степень извлечения углеводородов в значительной мере определяется проницаемостью проппантной пачки, к самому проппанту предъявляются дополнительные особые требования - продукт должен быть термостойким, химически инертным, благоприятным для окружающей среды, безопасным[1].

Условия службы определяют основные функциональные свойства проппантов, которые должны выдерживать высокие пластовые давления, противостоять коррелирующему действию агрессивной среды (кислых газов, солевых растворов), а также обеспечивать максимальную скорость перемещения добываемого нефтепродукта сквозь проппантную пачку. В последнее время проппанты, изготовленные из магнийсиликатного сырья, занимают все большую долю рынка. Это обусловлено дешевизной и

доступностью сырьевых материалов, а также тем, что по основным эксплуатационным характеристикам (гранулометрическому составу, сферичности, округлости, сопротивлению раздавливанию, плотности, проницаемости, растворимости в кислотах и запыленности) они не уступают, а по ряду параметров превосходят другие виды расклинителей.

1.2 Свойства и характеристика пропантов

Согласно международному стандарту качество пропанта определяется такими показателями, как сферичность и округлость, растворимость в кислотах, насыпная плотность, сопротивление раздавливанию. К физическим характеристикам пропантов, которые влияют на проводимость трещины, относятся такие параметры, как прочность, размер гранул и гранулометрический состав [3].

Прочность является основным критерием при подборе пропантов для конкретных пластовых условий с целью обеспечения длительной проводимости трещины на глубине залегания пласта. В глубоких скважинах минимальное напряжение — горизонтальное, поэтому образуются преимущественно вертикальные трещины. С глубиной минимальное горизонтальное напряжение возрастает приблизительно на 19 МПа/км. Поэтому по глубине пропанты имеют следующие области применения: кварцевые пески — до 2500 м; пропанты средней прочности — до 3500 м; пропанты высокой прочности — свыше 3500 м [3].

Исследования последних лет, показали, что применение пропантов средней прочности экономически эффективно и на глубинах менее 2500 м. Среднепрочными пропантами являются керамические пропанты плотностью 2,7 - 3,3 г/см³, они используются при напряжении сжатия до 69 МПа

[4]. Наиболее часто применяют пропанты с размерами гранул 0,425 - 0,85мм (20/40 меш), реже 0,85 - 1,7 мм (12/20 меш), 0,85 - 1,18мм (16/20 меш), 0,212 - 0,425 мм (40/70 меш). Выбор нужного размера зерен пропанта определяется целым комплексом факторов. Чем крупнее гранулы, тем большей проницаемостью обладает упаковка пропанта в трещине[3].

Однако использование пропанта крупной фракции сопряжено с дополнительными проблемами при его переносе вдоль трещины. Прочность пропанта снижается с увеличением размеров гранул. Кроме того, в слабосцементированных коллекторах предпочтительным оказывается использование пропанта более мелкой фракции, так как за счет выноса из пласта мелкодисперсных частиц упаковка крупнозернистого пропанта постепенно засоряется и ее проницаемость снижается [5].

От округлости и сферичности гранул пропанта зависит плотность его упаковки в трещине, ее фильтрационное сопротивление, а также степень разрушения гранул под действием горного давления. Плотность пропанта определяет перенос и расположение пропанта вдоль трещины. Пропанты высокой плотности труднее поддерживать во взвешенном состоянии в жидкости разрыва при их транспортировке вдоль трещины. В последние годы зарубежные фирмы стали выпускать облегченные пропанты, характеризующиеся пониженной плотностью.

1.2.1 Классификация пропантов

Современные материалы, используемые для закрепления трещин в раскрытом состоянии (пропанты), подразделяются на три группы, указанные в табл. 1.2 [6].

Таблица 1.2 Материалы, используемые в качестве пропантов

Материал	Описание
Кварцевый песок	Преимущества: доступность и невысокая стоимость, пригодность для всех типов пластов, способность образования при хранении более мелких частиц, не теряющих высокой проницаемости. Недостатки: низкая проницаемость, невысокая прочность.
Смолопокрытый песок	Впервые покрытие фенольной смолой было использовано на таких материалах как кварцевый песок, стеклянные шарики и керамика. Принцип основывался на введении частично восстановленного просмоленного пропанта в скважину и связке частиц пропанта вместе, образующих при этом фильтр нисходящей скважины. 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. К тому же это снижает напряжение между зернами и поддерживает целостность частиц, повышает их химическую устойчивость. Покрытые смолой зерна менее чувствительны к глубине и могут формировать фракции небольшого размера. Преимущества: высокая прочность при сжатии. Недостатки: предрасположенность к пылению в условиях сдвига.
Керамические пропанты	Синтетические материалы, получаемые спеканием боксита и каолина. После обработки конечный минералогический состав материала представляет собой смесь муллита и корунда. Керамические пропанты, в отличие от кварцевых песков, при разрушении разбиваются на небольшое количество крупных осколков, которые позволяют сохранять приемлемую проницаемость.

	Преимущества: высокая прочность при сжатии. Недостатки: высокая плотность, высокая стоимость.
--	---

В настоящее время на глубинах, где применение песка не рентабельно, используют керамические пропанты, также находят применение синтетические смолопокрытые пропанты. Назначение специальной смоляной пленки на поверхности гранулы связано с необходимостью повышения прочности и препятствием выносу частиц раскрошившегося пропанта из трещины [6].

1.2.2 Свойства пропантов

К физическим характеристикам пропантов относятся прочность, размер зерен, сферичность и окатанность гранул, их плотность и пористость (таблица 1.3):

Таблица 1.3 – Свойства пропантов

Свойство	Описание
Прочность	Прочность является основным критерием при подборе пропантов для конкретных пластовых условий с целью обеспечения длительной проводимости трещины на глубине залегания пласта. В глубоких скважинах минимальное напряжение – горизонтальное, поэтому образуются преимущественно вертикальные трещины. С глубиной минимальное горизонтальное напряжение возрастает приблизительно на 19 Мпа/км [3].

Размер зерен	Выбор нужного размера зерен пропанта определяется целым комплексом факторов. Чем крупнее гранулы, тем большую проницаемость имеет упаковка пропанта в трещине. Однако использование пропанта крупной фракции сопряжено с дополнительными проблемами при его переносе вдоль трещины. Прочность пропанта снижается с увеличением размеров гранул. Кроме того, в слабосцементированных коллекторах предпочтительней использование пропанта более мелкой фракции, так как за счет выноса из пласта мелкодисперсных частиц упаковка крупнозернистого пропанта постепенно засоряется и ее проницаемость снижается [3].
Сферичность и окатанность	Сферичность и окатанность гранул определяют пористость пачки пропанта и упаковку гранул. Окатанность гранул – это мера относительной остроты граней пропанта, а сферичность пропанта определяется как близость формы гранул к идеальной сфере. Более высокая сферичность и окатанность гранул позволяет обеспечить большую пористость (и проницаемость) пачки пропанта при увеличении нагрузки на пропант. При больших нагрузках гранулы лучшей формы обеспечивают более равномерную нагрузку в пачке пропанта. А значит имеют меньшую разрушаемость [3].
Плотность	Плотность пропанта определяет перенос и расположение пропанта вдоль трещины. Пропанты высокой плотности труднее поддерживать во

	взвешанном состоянии в жидкости разрыва при их транспортировании вдоль трещины. Заполнение трещины пропантом высокой плотности может быть достигнуто двумя путями: использованием высоковязких жидкостей, которые транспортируют пропант по длине трещины с минимальным его осаждением. Или использованием маловязких жидкостей при повышенном темпе их закачки. В последние годы зарубежные фирмы стали выпускать облегченные пропанты, характеризующиеся пониженной плотностью [3].
Пористость	Пористость – безразмерная величина, равная незанятому фракцией объему, т.е. отношение объема пустот к общему объему материала. Чем меньше пористость, тем больше прочность на раздавливание и меньше хрупкость [3].

Совокупность физико – механических и химических свойств пропантов в сильной степени влияет на эффективность проводимого гидроразрыва. Основное влияние на эти свойства оказывает состав шихты, из которой получают пропанты.

1.2.3 Требования к керамическим пропантам

По физико – химическим и физико – механическим показателям, гранулометрическому составу и форме пропанты должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 1.4 [6].

Таблица 1.4 – требования к керамическим магнезиально – силикатным пропантам.

Наименование показателя	Норма для фракции						
	10/14	12/1	16/20	16/30	20/40	30/50	40/70
		8					
1 Массовая доля, %, не менее:							
MgO	8						
SiO ₂	50						
2 Гранулометрический состав, %, не более – массовая доля гранул:							
- оставшихся на сите номер:							
6	0,1						
8		0,1					
12			0,1	0,1			
16					0,1		
20						0,1	
30							0,1
- прошедших через сито номер:							
20	1,0						
30		1,0					
40			1,0	1,0			
50					1,0		
70						1,0	
100							1,0
3 Массовая доля гранул основной фракции, %, не	90,0						

менее							
4 Сферичность, условные единицы, не менее	0,7						
5 Округлость, условные единицы, не менее	0,7						
6 Растворимость в смеси кислот, %, не более	10,0						
7 Растворимость в соляной кислоте, %, не более	1,0						
8 Мутность, NTU, не более	250						
9 Насыпная плотность, г/см ³ , не более	1,75						
10 Кажущаяся плотность, г/см ³ , не более	3,10						
11 Абсолютная (истинная) плотность, г/см ³ , не более	3,10						
12 Сопротивление раздавливанию, %, не более при давлении, Мпа:							
34,5	20,0	15,0	15,0	10,0	5,0		
51,7	25,0	20,0	20,0	15,0	7,0	5,0	
68,9		25,0	25,0	20,0	10,0	10,0	8,0
13 Потеря массы при прокаливании, %, не более	4,0						
14 Эффективная удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг, не более	370						
Примечания 1 Сопротивление раздавливанию определяют при давлениях 34,5; 51,7 и 68,9 Мпа, что соответствует давлению 5000; 7500 и 10000 фунт/дюйм ² . 2 По соглашению сторон допускается изготавливать пропанты дополнительных							

фракций, что оговаривают в контракте на поставку.

- *насыпная плотность пропантов*: отношение массы свободно насыпанных пропантов к занимаемому ими объему, выраженное в граммах на кубический сантиметр;
- *кажущаяся плотность пропантов*: отношение массы пропантов к их общему объему, выраженное в граммах на кубический сантиметр;
- *общий объем пропантов*: объем гранул пропантов с учетом открытых и закрытых пор, выраженный в кубических сантиметрах;
- *абсолютная (истинная) плотность пропантов*: отношение массы пропантов к их истинному объему, выраженное в граммах на кубический сантиметр;
- *истинный объем пропантов*: объем гранул пропантов без учета открытых пор и пустот между гранулами, выраженный в кубических сантиметрах;
- *сопротивление раздавливанию пропантов*: массовая доля гранул пропантов разрушенных под воздействием заданной сжимающей нагрузки, выраженная в процентах;
- *округлость гранулы пропантов*: степень относительной сглаженности углов при вершинах и ребер гранул пропантов, выраженная в условных единицах;
- *сферичность гранулы пропантов*: степень приближения формы гранулы пропантов к форме сферы, выраженная в условных единицах;
- *мутность*: интенсивность рассеяния света на взвешенных частицах в единице объема водной суспензии пропантов, выраженная в нефелометрических единицах мутности, NTU;
- *потеря массы пропантов при прокаливании*: относительное уменьшение массы пропантов с полимерным покрытием после нагрева и выдержки их при заданной температуре до достижения постоянной массы, выраженное в процентах;

- *растворимость пропантов в кислоте (смеси кислот):* относительное изменение массы пропантов после обработки растворами, содержащими кислоту (смесь кислот), выраженное в процентах [3].

1.3 Сырьевые материалы для получения магнезиально – силикатных керамических пропантов

Магнезиально - силикатные пропанты занимают особое положение в ряду керамических расклинивателей, применяемых для гидроразрыва пласта. Это обусловлено дешевизной и доступностью природного сырья для их производства, а также тем, что химический и минералогический состав сырья позволяет получать пропанты с заданными физико-химическими характеристиками. В частности, природные серпентиниты и оливиниты содержат в своем составе железо в количестве до 8,5 мас.% в пересчете на Fe_2O_3 , причем железо в основном представлено в виде двухвалентного оксида FeO . Во время подготовки исходных компонентов шихты с целью удаления химически связанной воды и стабилизации фазового состава природные серпентиниты и оливиниты, как правило, подвергают окислительному обжигу при температуре 900-1100°C. Во время термообработки происходит окисление FeO до Fe_3O_4 . Поскольку Fe_3O_4 (магнетит) обладает выраженными магнитными свойствами, его сохранение в составе материала при последующих технологических операциях позволяет придать конечной продукции магнитные свойства. Так как при измельчении и формовании шихты происходит существенного изменения валентности железа, спекающий обжиг изделий необходимо производить при температурах ниже температуры инверсии $\text{Fe}_3\text{O}_4 \leftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ в условиях окислительного обжига и ниже температуры инверсии $\text{Fe}_3\text{O}_4 \leftrightarrow \text{FeO}$ в условиях восстановительного обжига [7].

1.4 Процессы фазообразования керамических материалов из магнезиально – силикатного сырья

В зависимости от температуры обработки огнеупоров происходящие в них физико – химические процессы формирования (переход дисперсных систем в монокристаллические системы) условно подразделяют на следующие процессы:

1) твердение – до температуры 300°C (низкая температура), конечная продукция – бетонные (безобжиговые) огнеупоры.

Основным показателем процессов твердения огнеупоров является зависимость $\sigma_{сж} = f(T)$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа; T – температура сушки, °C;

2) разупрочнение (упрочнение) – 300 – 1000 °C (средняя температура), конечная продукция – термообработанные огнеупоры.

Основным показателем процессов разупрочнения (упрочнения) огнеупоров является коэффициент разупрочнения – $K_{разупр}$.

3) спекание – выше 1000 °C (высокая температура), конечная продукция – обожженные огнеупоры.

Основными показателями процессов спекания являются коэффициент спекания – $K_{сп}$ или относительная плотность огнеупоров – $\rho_{отн}$.

4) литье – выше температуры плавления огнеупоров (сверхвысокая температура), конечная продукция – литые огнеупоры.

Эти процессы характеризуются прочностью $\sigma_{сж}$ огнеупоров.

Температурные границы процессов твердения, разупрочнения и спекания условны, так как они зависят от конкретного состава и вида огнеупоров [4].

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

Диаграммы трехкомпонентных систем, изображаемые на концентрационном треугольнике, представляют собой проекции поверхности ликвидуса и солидуса вместе. Огнеупорность смеси данного состава выражают соотношениями солидуса – ликвидуса. Фазовый состав огнеупора при температуре службы лежит между поверхностями солидуса и ликвидуса. Состав твердых фаз при температуре солидуса дает непосредственно солидусная диаграмма, а состав жидкой фазы при любой температуре между ликвидусом и солидусом косвенно определяют при помощи построения траектории кристаллизации [8].

Диаграмма состояния системы $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ представлена на рисунке 1.3. Всего в системе насчитывается 9 химических соединений, из которых три являются простыми оксидами, два – сложными тройными соединениями, остальные – бинарными.

Тройными соединениями являются кордиерит $2\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ и сапфирин $4\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Оба тройных соединения плавятся с разложением [8].

Кордиерит образует серию стабильных и метастабильных твердых растворов и имеет ряд полиморфных модификаций. α – Кордиерит получен

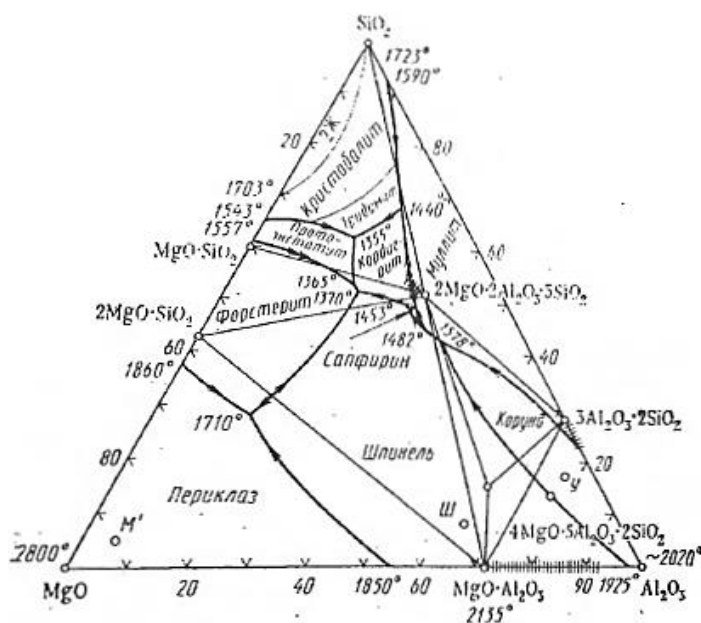


Рисунок 1.3 – Диаграмма состояния системы $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ по Осборну и Муану [21]

быстрой высокотемпературной кристаллизацией стекла кордиеритового состава; имеет гексагональную симметрию и неупорядоченную структуру. Редко встречающиеся природные кордиериты сходны с искусственным α – кордиеритом. β – Кордиерит получен длительной низкотемпературной кристаллизацией стекол; имеет ромбическую симметрию, упорядоченную структуру. α – Кордиерит при 1400°C переходит в ромбический, последний при 1460°C переходит обратно в α – модификацию [8].

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. После кристаллизации кордиерита на тройной диаграмме состояния системы $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ граничит с полями кристаллизации шести химических соединений: MgAl_2O_4 , $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $4\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (сапфирин), $2\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, SiO_2 .

Структурная формула кордиерита $\text{Mg}_2\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{18}]$. При увеличении соотношения оксидов $\text{MgO} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ от 2 : 2 : 5 до 2 : 2 : 8 образуются твердые растворы кордиерита с кристобалитом. При большем содержании SiO_2 (2 : 2 : 10) кристобалит не входит полностью в твердый раствор, а частично остается в свободном состоянии.

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 [9].

В системе $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ при соотношении оксидов, отвечающих кордиериту (2 : 2 : 5), наиболее низкая температура плавления расплава составляет 1345°C . Такой расплав эвтектического состава содержит 20,3 % MgO ; 18,3 % Al_2O_3 и 64,4 % SiO_2 , характеризуется весьма малой вязкостью. А его количество быстро нарастает при повышении температуры за счет растворения в нем примесей оксидов щелочных и щелочноземельных элементов, содержащихся, как правило, в сырьевых материалах. По этой причине контакт в службе алюмосиликатных и магнезитовых огнеупоров является совершенно недопустимым [8].

1.4.2 Характеристика структуры и свойств кордиерита, энстатита и форстерита

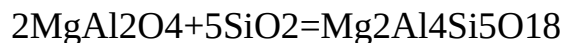
Кордиерит ($2\text{MgO} \quad 2\text{Al}_2\text{O}_3 \quad 5 \text{ SiO}_2$) - материал с низким температурным коэффициентом линейного расширения, способностью противостоять резким перепадам температур, высокой химической стойкостью, диэлектрическими свойствами. Сочетание высокой термостойкости с диэлектрическими свойствами позволяет использовать кордиеритовые изделия в качестве жаростойких электроизолирующих материалов.

Физические свойства кордиеритовой керамики имеют следующие значения: плотность 1,6 - 2,55 г/см³, ТКЛР $(1,97 - 3,56) \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, (диапазон температур 20 - 700 $^\circ\text{C}$), прочность при изгибе 55 - 100 МПа, водопоглощение 4,5 - 15%, пористость 1,2 - 38%, диэлектрическая проницаемость 4,5 - 5,5, термостойкость 850 - 1000 $^\circ\text{C}$ [9].

Кристаллическая структура кордиерита построена из шестичленных колец, образованных тетраэдрами $[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]$, соединенных вершинами. Кольца сочленяются двумя общими атомами кислорода, между которыми образуется большой полый канал. Такие колонны колец соединяются атомами алюминия (находящимися в тетраэдрических позициях) и магния (в октаэдрических позициях). При искажении колец симметрия $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ понижается. Структура кордиерита соответствует формуле $\text{Al}_3\text{Mg}_2(\text{Si}_5\text{Al})\text{O}_{18}$ [10].

Кордиерит получен в XIX столетии при изучении кристаллизации андезитовой магмы. Установлено, что в смеси окислов первичным продуктом является шпинель MgAl_2O_4 , которая реагирует с кремнеземом до кордиерита. В меньших количествах получается форстерит, образующий кордиерит путем последующих реакций с SiO_2 и Al_2O_3 .

Для основной реакции образования кордиерита:



Скорость образования кордиерита при 1600°K примерно в $1,6 \cdot 10^6$ меньше скорости образования шпинели из окислов ($K_{1600} = 2,12 \cdot 10^{-10} \text{ч}^{-1}$). Изменение объема (SiO_2 - б-кварц) для указанной реакции составляет +18,4%. Начало реакции констатировано приблизительно при температурах $1470 - 1670^\circ\text{K}$ выражается уравнением:

$$d\tau = 9,9 \cdot 10^9 \exp(-67000/RT).$$

Из уравнений следует, что энергия активации образования и роста зерен кордиерита в «сухих» смесях велики. Для их понижения исходят из каолина и талька, в которых даже при температурах выше 1273°K еще сохраняется некоторое количество воды, ускоряющей процессы образования кордиерита и рост его зерен [10].

Температура плавления кордиерита понижается с увеличением давления в гидротермальных условиях. При общем давлении 2 кбар кордиерит плавится с образованием муллита, шпинели и расплава при 1498°К. При давлении 5 кбар из него образуется при 1363°К шпинель, сапфирин и расплав, а при 10 кбар и 1233°К кордиерит дает сапфирин и расплав [10].

В «сухих» условиях безводный кордиерит при 10 кбар и 1273 - 1373°К разлагается на энстатит, силлиманит (или муллит) и кварц, а при 8 - 10 кбар и температуре 1473°К и выше из него образуется сапфирин и кварц. Кордиерит при очень высоких давлениях нестабилен [10].

Энстатит $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ – минерал, относится к силикатам, группе пироксенов. Название минерала произошло от др.-греч. ἐνστάτης (энстатес) «противник», «сопротивляющийся», что связано с устойчивостью энстатита к плавлению. В неправильных зёрнах с уверенностью может быть определен лишь в тонких шлифах под микроскопом по оптическим константам. От моноклинных пироксенов отличается по прямому углу погасания [11].

- Твердость 5-6
- Удельный вес 3,1-3,2
- Спайность средняя
- Излом раковистый
- Цвет бесцветный, светлоокрашенный серых, буроватых, бледно-зеленоватых оттенков.

Кристаллы энстатита ромбические, как правило, просвечивающие, со стекляннм блеском, на поверхностях спайности - перламутровым. Хорошо сформированные кристаллы редки; минерал гораздо чаще встречается в виде массивных или тонкопластинчатых агрегатов. Окраска светло-зеленовато-серая, зеленая, иногда бурая.

Химический состав. Окись магнезия (MgO) 30%, закись железа (FeO) 9%, окись кальция (CaO) до 2,5%, окись железа (Fe_2O_3) 0,5%, окись алюминия (Al_2O_3) 2,6%, двуокись кремния (SiO_2) 54,50%. Форма кристаллов. Призматические, таблитчатые. Кристаллическая структура. Простые цепочки ионов. Класс симметрии. Ромбо-бипирамидальный. Спайность. Хорошая по призме, угол между плоскостями спайности составляет 85° . Агрегаты. Обычно плотные, зернистые [11].

Энстатит без примесей не поддается действию кислот и плавится с трудом.

Распространён в природе весьма широко. Породообразующий минерал во многих богатых магнезией, но бедных окисью кальция изверженных горных породах, особенно интрузивных, широко распространенных на Урале, Северном Кавказе, в Закавказье, в Сибири и многих других местах [11].

Форстерит— распространённый минерал, силикат магнезия (Mg_2SiO_4) из группы оливина (класс силикаты). Образует с фаялитом изоморфный ряд, который носит название оливина [12].

Сингония ромбическая (орторомбическая). Сплошные зернистые агрегаты или вкрапленные зерна. Хорошо образованные кристаллы редки; имеют вид короткостолбчатых кристаллов с клиновидным завершением. Твёрдость по шкале Мооса 7. Блеск стеклянный. Спайность несовершенная по $\{010\}$, средняя по $\{100\}$. Излом раковистый. Цвет белый, зеленый, бледно-желтый, серый, бесцветный. Цвет черты белый. Хрупок. Плотность(измеренная) $3,275 \text{ г/см}^3$, (с увеличением количества примесного железа физические константы приобретают более высокие значения). Не плавится в пламени свечи и не растворяется в соляной кислоте. Растворяется в серной кислоте с образованием студенистого осадка кремнезема [12].

Прозрачная разновидность форстерита (так же, как и оливина), носит название хризолита.

Распространённый породообразующий минерал ультраосновных пород, магматического происхождения. Реже контактовый метаморфизм. Он также встречается в термально метаморфизованных доломитах, магнезиальных скарнах, мраморах. Обычно не может существовать совместно с кварцем, при их реакции образуется энстатит:



1.5 Способы активации процесса спекания магнезиально – силикатной керамики

С технологической точки зрения спекание представляет собой процесс получения прочного, малопористого (или почти беспористого) камневидного тела из порошковой массы при воздействии высоких температур.

Внешними признаками спекания обычно служит уменьшение размеров тела (так называемая усадка), уменьшение пористости и увеличение кажущейся плотности.

Обязательным следствием спекания является упрочнение материала, происходящее благодаря, главным образом, увеличению контакта между частицами. При спекании возможны следующие (внутренние) процессы: изменение размеров и формы пор; рост кристаллов; снижение и выравнивание остаточных (после прессования) напряжений; образование жидкой фазы; пространственное перераспределение фаз; уменьшение концентрации дефектов в кристаллических фазах и др. В ряде случаев спекание сопровождается полиморфные превращения некоторых фаз,

химические реакции в твердых фазах или реакции с участием жидкой фазы, образование в результате реакций новых фаз и твердых растворов.

Перечисленные процессы усложняются последующим охлаждением, при котором наблюдаются некоторые обратные процессы: полиморфные превращения, кристаллизация расплава и возможно возникновение кристаллизационного давления, образование стеклообразной фазы и другие явления. Как при повышении, так и при понижении температуры в материале возникают напряжения, часто приводящие к макродефектам, браку изделий. Все эти процессы зависят от температуры, ее градиента в теле материала, скорости изменения температуры, концентрации фаз и градиента концентраций, газовой среды, действия поля высокой частоты, вибрации и других условий. Даже неполное перечисление процессов, происходящих в материале при изменении его температуры, дает картину исключительно сложного явления.

При производстве огнеупоров обычно ставится задача ускорения спекания и спекания до более низких значений пористости изделий. Технологические факторы (параметры технологии), влияющие на спекание, можно подразделить на механические, теплотехнические и химические [9].

Механическое активирование спекания происходит при измельчении материала. В результате измельчения увеличивается свободная энергия и кривизна частиц. Уменьшается путь диффузии. Что благоприятно влияет на спекание. Оптимальные значения тонкости помола, устанавливаемые опытом, определяются экономическими соображениями. Время и способ тонкого помола оказывают влияние и на образование квазиаморфного слоя – слоя Бейбли. Этот слой может быть как активным к спеканию, так и неактивным в случае наклепа. Степень аморфизации не обязательно пропорциональна дисперсности и зависит, как показывают опыты, от условий измельчения и типа мельницы. Практикой установлено, что

порошки длительного сухого помола (как кристаллические, так и аморфные) более активны в спекании (и более реакционноспособны), чем порошки мокрого помола при равной их дисперсности.

Отличие в активности порошков сухого и мокрого помола сохраняется и при достаточно высоких температурах, хотя дефекты решетки, вызванные механической деформацией, обычно сравнительно быстро залечиваются при повышении температуры. Сохранение же активности порошков сухого помола. Возможно объясняется свойствами аморфизированного слоя Бейбли, мощность которого при сухом помоле больше. К механическим параметрам технологии, ускоряющим спекание, относится уплотнение материала перед спеканием (прессованием) [3].

1.6 Тепловое активирование спекания

Спекание в керамических системах протекает, как правило, по диффузионному механизму. Таким образом, самым эффективным фактором, активирующим спекание, является температура. Увеличение температуры процесса приводит к экспоненциальному росту скорости диффузионных процессов. К тепловым методам активации следует отнести и длительность выдержки при температуре спекания.

На скорость спекания и достижение спеченного состояния материала, прежде всего, влияют максимальная температура спекания и скорость подъема температуры [13].

Гегузин, обобщивший работы по спеканию металлических порошков, отмечает, что это явление вызвано тем, что частицы металла, обладающего различными дефектами кристаллического и технологического характера, в процессе медленного повышения температуры некоторым образом их

исчерпывают, в связи с чем вклад этих дефектов в ускорение спекания при последующем изотермическом режиме невелик. С увеличением скорости нагрева значительная часть дефектов сохраняется до высоких температур, что интенсифицирует процесс спекания[14].

Если максимальная температура спекания определяется свойствами материала и требованиями получения заданной пористости, то скорость подъема температуры, в основном, ограничивается необходимостью равномерности прогрева обжигаемого материала и получения материала без дефектов (брака). Скорость нагревания и характер газовой среды (режим обжига) устанавливают опытом с учетом физико-химических процессов, происходящих в спекаемом материале. Для собственно спекания (механизма проскальзывания частиц), как уже отмечалось, более благоприятен период подъема температуры, чем изотермическая выдержка.

В промышленных условиях повышение температуры обжига изделий приводит к увеличению стоимости готового продукта, поэтому весьма актуальным является изыскание путей активации процесса спекания иными способами, тем самым создание энергосберегающих технологий.

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

Для достижения поставленных целей необходимо было применять современные методы исследования, которые использовались совместно для получения объективных результатов анализа с незначительной погрешностью.

При исследовании физико-химических особенностей и технологических свойств сырьевых материалов, масс и готовых изделий, а также процессов фазообразования в исследуемых объектах при нагревании использовались рентгеновский метод, синхронный термический анализ, химический анализ и другие.

2.1 Рентгеновский анализ

Определение минерального состава сырьевых материалов и готовых изделий реализуется с помощью рентгенофазового анализа. Основной целью рентгенофазового анализа является идентификация различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, даваемой исследуемым образцом [19]. Связь между геометрией дифракционной картины и межплоскостным расстоянием в кристалле выражается формулой Вульфа-Бреггов :

$$2d \cdot \sin \theta = n\lambda, \quad (2.1)$$

n - называют порядком отражения ($n = 1, 2, 3$).

θ - угол падения рентгеновского луча на плоскости образца, град;

λ -длина волны рентгеновского луча, нм;

d -межплоскостное расстояние, нм;

Анализ продуктов обжига и сходных веществ проводился на дифрактометре ДРОН-ЗМ с рентгеновскими трубками БСВ-24 с SiK_α -излучением ($\lambda = 0,154056$ нм). Основные параметры съемки: скорость 4 град/мин, напряжение анод-катод 35 кВ, анодный ток 25 мА.

Расшифровка происходит путем определения значений межплоскостных расстояний (d/n) и относительных интенсивностей рефлексов ($I_{\text{отн}}$). Сравнивая с табличными рентгеновскими характеристиками чистых кристаллических фаз с полученным набором основных рефлексов исследуемого образца, исследуется вещественный состав сырьевых материалов или фазовый состав готовых керамических изделий [15].

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.

Испытание делается следующим образом. Берутся образцы в количестве не менее трех, взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Для насыщения пор образцов жидкостью применяют кипячение либо метод вакуумирования.

В данной работе использовался метод кипячения. Сухие образцы помещают в кастрюлю, 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..

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

При взвешивании в погруженном состоянии образец помещают на легкую сетчатую подставку или подвешивают проволоочной лентой. Перед взвешиванием образца уравнивают чашки с подвесным устройством. Для взвешивания на воздухе образца, насыщенного жидкостью, предварительно отжатым полотенцем удаляют с его поверхности избыток жидкости.

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 [16].

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.

Воздушную линейную усадку определяют по изменениям линейных размеров образцов после сушки [16].

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 :

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

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:

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

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 [16].

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, которое выдерживает 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 [17]. 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 этому значению пропанты делятся: легкие, облегченные, среднеплотные и т.д. Так же определяют необходимую плотность и вязкость несущего геля для того, чтобы исключить оседание пропанта в скважине при его закачке в трещину гидроразрыва. Сопротивление раздавливанию (прочность), проницаемость и проводимость также определяются исходя из насыпной плотности пропанта.

Метод определения насыпной плотности заключается в следующем. К краю сухого мерного сосуда, взвешенного с точностью до 0,02 г., прикладывают воронку, заполняют его пропантом до отметки 100 см³ без встряхивания и трамбования и взвешивают. 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.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений при заданном удельном давлении.

2.6 Определение сопротивления пропантов к раздавливанию

Сопротивление раздавливанию – это прочностная характеристика пропанта, которая определяется структурой материала, ее совершенством, распределением фаз, наличием дефектов, выраженности границ их соприкосновения, за счет которых, при приложении нагрузки, может идти разрушение частиц пропантов.

Сущность метода заключается: сопротивление раздавливанию определяют по массовой доле гранул, разрушенных сжимающей нагрузкой заданной величины.

Пробу пропантов просеивают на лабораторном вибраторе в течение 10 минут через набор сит номером: 12 и 20 (фракции 12/20); 16 и 20; 16 и 30; 20 и 40; 40 и 70.

Пропанты, оставшиеся на верхнем сите и прошедшего через нижнее сито, отбрасывают, а остальные пригодны для испытаний.

Серию испытаний проводят на восьми навесках: по две параллельных навески при удельных давлениях 51,7; 68,9; 86,1; 103,3 Н/мм² [17].

До начало 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.

Рассчитать количество просеянных пропантов взвешивают с точностью до 0,1 г и засыпают в приспособление для раздавливания, перемещая точку истечения пропантов для обеспечения максимально ровной поверхности. Поверхность загруженных пропантов выравнивают поворотом пуансона на 180° без применения усилия. Затем, не встряхивая, помещают приспособление для раздавливания в машину для испытания на сжатие. Образец погружают равномерно в течение 1 минуты до заданного удельного давления, которое поддерживают в течение 2 мин. Затем снимают приспособление с испытательной машины и переносят с помощью кисточки его содержимое на набор сит. После отсева на вибраторе взвешивают раздавленные гранулы пропантов из поддона с точностью до 0,1 г. 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;

За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений при заданном удельном давлении [17].

2.7 Определение сферичности и округлости пропантов

Для определения сферичности и округлости пропантов из пробы насыпают на лист белой бумаги, который помещают на предметный столик микроскопа. Используя диаграмму Крамбейна для визуального определения

сферичности и округлости, определяют при соответствующем увеличении сферичности 20 - 25 гранул. На рисунке 2.1 представлено графическое изображение формул гранул.

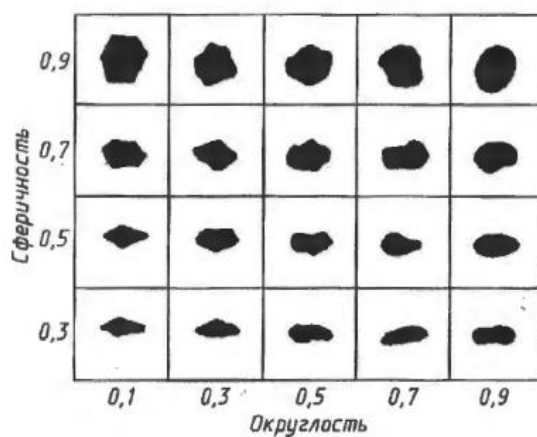


Рисунок 2.1 – Диаграмма для визуального определения сферичности и округлости.

За результат испытаний принимают средний арифметический результат. Керамические пропанты имеют показатели в диапазоне 0,8 – 0,9; песка – 0,7 [16].

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г21	Киснер Анне Сергеевне

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	Премияльный 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	Да та
Доцент кафедры менеджмента	Верховская М.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Да та
4Г21	Киснер Анна Сергеевна		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В нефтегазодобывающей отрасли России большое внимание уделяют перспективам применения метода гидроразрыва нефтегазоносного пласта (ГРП). Это обусловлено, прежде всего, тенденцией роста в структуре запасов нефти ее доли в низкопроницаемых коллекторах. Современные способы извлечения запасов нефти и газа из земли с применением метода гидроразрыва пласта, с одной стороны обуславливают широкое применение пропантов, а с другой стороны, стимулируют развитие рынка пропантов в целом.

Производство керамических пропантов связано с большими затратами электроэнергии и топлива. Чтобы получить конкурентоспособный продукт, по эксплуатационным свойствам не уступающий зарубежным аналогам,

необходимо изыскать пути снижения издержек производства за счет использования недорогого регионального магнийсиликатного сырья, малоперспективного для фарфоро-фаянсового производства или не представляющего интереса для нужд магниевой промышленности. Другим вариантом снижения себестоимости изделий является поиск способов интенсификации процесса спекания керамического материала, что приводит к снижению температуры конечного обжига изделий [18].

5.2 SWOT-анализ

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) – это комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [19].

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Первый этап SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Более высокая пористость и прочность С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3.Наличие финансирования	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не все образцы прошли испытания Сл2.Энергоемкое производство Сл3.Невысокое качество сырья
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования		

Таблица 5.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Более высокая пористость и прочность С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Возможность использования инновационной инфраструктуры ТПУ	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Не все образцы прошли испытания Сл2. Энергоемкое производство Сл3. Невысокое качество сырья
Возможности: В1. Повышение стоимости конкурентных разработок В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В2. Повышение стоимости конкурентных разработок	Разработка высокопрочных пропантов из невысокого качества сырья	Пропанты высокого качества
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования	Развитие в дальнейшем данной технологии способна усилить противодействие конкуренции	При развитии конкуренции есть риски потери занятой ниши рынка. При добавлении к этому несвоевременного финансового обеспечения угроза потери рынка значительно возрастает

5.3 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты приведенной в табл. 18.

Из наиболее влияющих предприятий-конкурентов в области производства пропантов материалов являются ОАО «Боровический комбинат огнеупоров», ООО «Форэс» [20].

Таблица 5.3. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	1	2	3	4
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0.1	4	4	4			
2. Безопасность	0.2	5	5	4			
3. Выход продукта	0.2	4	5	5			
4. Энергоемкость процесса	0.2	5	5	4			
Экономические критерии оценки эффективности							
5. Цена	0.2	5	3	4			
6. Конкурентоспособность	0.1	4	5	5			
Итого	1						

Б_ф – продукт проведенной исследовательской работы;

Б_{к1} – ОАО «Боровический комбинат огнеупоров»

Б_{к2} – ООО «Форэс»

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (табл. 5.4)

Таблица 5.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультант ЭЧ, СО, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр
	4	Патентный обзор литературы	Руководитель, бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	7	Проведение экспериментов	Бакалавр
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	10	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Разработка технической документации и	11	Разработка технологии	Бакалавр
	13	Оценка эффективности	Бакалавр,

проектирование		производства и применения разработки	консультант по ЭЧ
	14	Разработка социальной ответственности по теме	Бакалавр, консультант СО
Изготовление и испытание опытного образца	15	Получение опытного образца	Бакалавр, руководитель
	16	Лабораторные испытания опытного образца	Бакалавр, руководитель
Оформление комплекта документации по ВКР	15	Составление пояснительной записки	Бакалавр

5.4.2. 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 [17]. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

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

$t_{ож\ i}$ – 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. 5.5

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.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3			
1	Составление технического задания	0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	Р	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	Б	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	К ¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,5	0,5	0,5	К ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	Выбор направления исследований	0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Р	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
		0,5	0,5	0,5	2	2	2	1	1	1	Б	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6

3	Подбор и изучение материалов	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Р	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
		5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
4	Патентный обзор литературы	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	8,2	8,2	8,2	9,8	9,8	9,8
5	Календарное планирование работ по теме	1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
		1	1	1	2	2	2	1,4	1,4	1,4	Б	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2,3	2,3	2,3
7	Проведение экспериментов	5	5	5	8	8	8	6,2	6,2	6,2	Б	3,1	3,1	3,1	3,7	3,7	3,7
8	Сопоставление	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Р	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
		3	3	3	5	5	5	3,8	3,8	3,8	Б	1,9	1,9	1,9	2,3	2,3	2,3

	результатов с теоретическими исследованиями																
9	Оценка эффективности и результатов	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
		5	5	5	6	6	6	5,4	5,4	5,4	Б	2,7	2,7	2,7	3,2	3,2	3,2
10	Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Р	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5
		5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Б	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5
11	Разработка технологий золосиликатного кирпича	2	2	2	3	3	3	2,4	2,4	2,4	Б	2,4	2,4	2,4	2,9	2,9	2,9
12	Оценка эффекта	5	5	5	10	10	10	7	7	7	Б	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2

	ивность и произв водства	5	5	5	10	10	10	7	7	7	К ¹	3,5	3,5	3,5	4,2	4,2	4,2
13	Разраб отка СО	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	Б	4,1	4,1	4,1	4,9	4,9	4,9
		7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2	К ²	4,1	4,1	4,1	4,9	4,9	4,9
14	Пригот овлени е опытно го образц а	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
		14	14	14	28	28	28	19,6	19,6	19,6	Б	9,8	9,8	9,8	12	12	12
15	Испыт ания опытно го образц а	3	3	3	4	4	4	3,4	3,4	3,4	Р	1,7	1,7	1,7	2	2	2
		5	5	5	7	7	7	5,8	5,8	5,8	Б	2,9	2,9	2,9	3,5	3,5	3,5
16	Состав ление поясни тельно й записк и	13	13	13	16	16	16	14,2	14,2	14,2	Б	14	14	14	17	17	17

Р – руководитель

Б – бакалавр

К¹ – консультант по экономической части

К² – консультант по социальной ответственности

5.4.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта [16].

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график (табл.5.6), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе табл. 5.5

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} , \quad (5.3)$$

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

T_{pi} – продолжительность выполнения i – й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} , \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

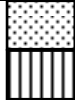
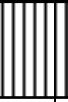
$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

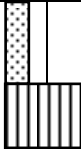
$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

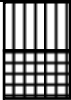
Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{150}{150 - 18 - 6} = 1,19.$$

Таблица 5.6 – Календарный план-график проведения НИОКР

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление технического задания	Руководитель, бакалавр, консультант ЭЧ, СО	0,1											
Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	0,6											
Подбор и изучение материалов	Руководитель, бакалавр	4,2											
Патентный обзор литературы	Бакалавр	9,8											
Календарное планирование работ	Руководитель, бакалавр	0,8											
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	2,3											
Проведение экспериментов	Бакалавр	3,7 2,2											

Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр	1,4 2,3											
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2,0 3,2 0,6											

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ										
			февраль		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр	3,5											
Разработка технологии обогащения сырья	Бакалавр	2,9											
Оценка эффективности производства и применения разработки	Бакалавр, консультант ЭЧ	4,2											
Разработка социальной	Бакалавр, консультант СО	4,9											

ответственности													
Получение опытного образца	Руководитель, бакалавр	2 12										 	
Испытания опытного образца	Руководитель, бакалавр	2 3,5 0,6										 	
Составление пояснительной записки	Бакалавр	17											

Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
			

5.4.4. Расчет материальных затрат НТИ

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расч} \quad (5.5)$$

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 и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

kT – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты данного НТИ представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество				Цена за ед., руб.				Затраты на материалы, (З _м), руб.			
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
Глина	кг	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5
КМЦ	л	0,20	0,01	0,01	5	100	100	100	1	45	45	45	45
Диабаз	кг	1	1	1		1,2	1,2	1,2	1,2	0,38	0,35	0,36	0,39
Гранитойд	кг	1	1	1	0	58	0	0	0	0,47	0	0	0
Пирофосфорнокислый натрий	л	0,09	0,09	0,09	0	70	70	70	70	0,1	0,1	0,1	0

Итого:		46	46	46	
---------------	--	-----------	-----------	-----------	--

5.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

Таблица 5.8- Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Сумма амортизацион- ных отчислений,,руб.
1.	Гидравлический пресс	1	401200	40120
2.	Щековая дробилка	1	630000	48460
3.	Шаровая мельница	1	80000	4000
4.	Электрическая печь	1	52200	5220
Итого				97800

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{год} = \frac{C_{перв}}{T_{пи}}, \quad (5.6)$$

где $C_{перв}$ – первоначальная стоимость, руб;

$T_{пи}$ – время полезного использования, год.

Результаты расчетов приведены в табл.5.8.

5.4.6 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату [17]. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (5.7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя отпредприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (5.8)$$

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

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (табл.16).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.9)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

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

В табл. 5.9 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 5.9–Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	150	150	150	150
Количество нерабочих дней	18	18	18	18
выходные дни:				
праздничные дни:	6	6	6	6
Потери рабочего времени	0	0	0	0
отпуск:				
невыходы по болезни:	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	126	126	126	126

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (5.10)$$

где $З_{\text{тс}}$ –заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в табл.5.10.

Таблица 5.10– Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264,9	0,3	0,35	1,3	49903,2	1933,88	16,6	32102,4
Бакалавр	14874,5	0,3	0,35	1,3	31905,8	1229,02	75	86031,4
Консультант СО	20080,9	0,3	0,35	1,3	43073,5	1659,2	4,3	7134,52

Консультант ЭЧ	20080,9	0,3	0,35	1,3	43073,5	1659,2	4,3	7134,52
Итого								132408,84

Общая заработная исполнителей работы представлена в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	32102,4	3852,3	35954,7
Бакалавр	86031,4	10323,8	96355,2
Консультант ЭЧ	7134,52	856,1	7990,66
Консультант СО	7134,52	856,1	7990,66

5.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина этих отчислений определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (5.11)$$

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

На 2015 г. в соответствии Федеральный закон от 24.07.2009 N 212-ФЗ (ред. от 31.12.2014) установлен размер страховых взносов равный 30%. Однако на основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27.1%

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot 148291,22 = 40186,92 \text{руб.}$$

5.4.8 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4) , \quad (5.12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов $k_{\text{нр}}$ допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 39409 руб.

5.4.9 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции .

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект
приведен в табл.5.12.

Таблица 5.12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.				Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 4	
1. Материальные затраты НТИ	46	46	46		табл.11
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	97800	97800	97800	97800	табл.12
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	88630,6	88630,6	88630,6	88630,6	табл.13
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	6204,1	6204,1	6204,1	6204,1	табл.14
5. Отчисления во внебюджетные фонды	28924,6	28924,6	28924,6	28924,6	-
6. Накладные расходы	39409	39409	39409	39409	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	261014,3	261014,3	261014,3	261014,3	Сумма ст. 1-6

Как видно из табл. 5.12 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей темы.

5.5 Определение ресурсной, 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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.13)$$

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

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля) .

Таблица 5.13. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,25	5	3	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	4
3. Надежность	0,20	5	4	5
4. Воспроизводимость	0,25	4	4	4
5. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4,6	3,6	4,3

Таблица 5.14. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,997	0,986	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,6	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	4,61	3,65	4,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79	0,93

Список литературы

1. Арбузов В. Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. — Томский политехнический университет., 2011. Глава 5.7. «Гидравлический разрыв пласта»
2. Пат. РФ №2513434, МПК⁶ C09K8/80. Способ изготовления керамического пропанта/Пейчев Виктор Георгиевич (RU), Плинер Александр Сергеевич (RU), Жаров Сергей Сергеевич (RU), Плотников Василий Александрович (RU)
3. ГОСТ Р 54571-2011 Пропанты магнезиально-кварцевые.
4. Пат. РФ №2211198, МПК⁷ C04B35/10, C04B20/04, E21B43/267. Шихта для изготовления высокопрочных сферических гранул и способ их производства. / Можжерин В.А., Мигаль В.П., Сакулин В.Я., Новиков А.Н., Салагина Г.Н., Штерн Е.А., Скурихин В.В., Булин В.В., Морданова Л.В., Симановский Б.А., Розанов О.М. Опубликовано 27.08.2003. Российские патенты на изобретения.
5. Патент США №2544209, C04B35/622./Способы формования, обработка порошков неорганических соединений перед производством керамических изделий. Carbo Ceramics Inc/ДиксонКевин Р.,Фасс Тихана. Опубликовано 17.08.2006.
6. Патент РФ. №2166079. E21B43/267. Пропант. Заявитель(и): Закрытое акционерное общество "Уралсервис"/Пястолов А.М.; Миленин С.И.; Опубликовано 27.04.2001.
7. Хорошавин, Лев Борисович. Форстерит 2MgO-SiO₂ / Л. Б. Хорошавин. — Москва: Теплотехник, 2004.
8. Хорошавин, Лев Борисович. Магнезиальные огнеупоры : справочник / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын, В. А. Кононов. — Москва: Интермет Инжиниринг, 2001.
9. Классен П.В. Гранулирование / П.В. Кларсен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. — М.: Химия, 1991. — 238 с.

10. Бабенко С.А. Поверхностные явления и процессы на их основе в гетерогенных системах с твердой фазой: учебное пособие / С. А. Бабенко, О. К. Семакина; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2002. — 110 с.
11. Вакалова Т.В., Погребенков В.М., Ревва И.Б. Исследование физико-механических и технологических свойств глинистого сырья. - Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 36 с.
12. Будников П.П. Технология керамики и огнеупоров / П.П. Будников [и др.]. – М.: Стройиздат, 1962. – 707 с.
13. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов: Учебное пособие – М: металлургия, 1985 – 480с.
14. Кайнарский И.С. Процессы технологии огнеупоров: Теоретические основы производства огнеупорных изделий / И. С. Кайнарский. — М.: Металлургия, 1969. — 350 с.
15. Пименова Л.Н. Рентгенофазовый анализ: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Физико-химические методы исследования» / Сост. Л.Н. Пименова. – Томск : Изд-во. Том. архит.-строит. ун-та, 2005. – 14 с.
16. Дегтярева, Элеонора Владимировна. Магнезиально-силикатные и шпинельные огнеупоры (Сырье, технология и свойства) / Э. В. Дегтярева, И. С. Кайнарский. — Москва: Металлургия, 1977.
17. Страшко А.Н.: Термогравиметрический анализ/Методические указания / Сост. Страшко А.Н. - Томск, изд. ТПУ, 2007.- 40 с.
18. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
19. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
20. <http://www.foresltd.com/ru/contacts>

Список публикаций

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