

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

ООП/ОПОП Химический инжиниринг

Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Исследование влияния разжижающих добавок на свойства керамического шликера

УДК 666.368:666.3.022.66

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера ИШНПТ	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера ИШНПТ	Ревва Инна Борисовна	К.Т.Н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП
по направлению 18.03.01 Химическая технология
специализация Химическая технология керамических и
композиционных материалов

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готов использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией

ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен и готовностью осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готов применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способен использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способен налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)- 21	Готов разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)- 22	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)- 23	Способен проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива
Дополнительно сформированные профессиональные компетенции университета	
ДПК(У)-1	Способен планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) НОЦ Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4Г91	Ивановой Екатерине Сергеевне

Тема работы:

Исследование влияния разжижающих добавок на свойства керамического шликера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 25-60 с от 25.01.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – добавки-разжижители для керамических шликеров.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<p>Анализ литературных источников; постановка задач исследования; изучение методов исследования; анализ результатов экспериментов; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение по работе.</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Маланина Вероника Анатольевна, доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович, старший преподаватель ООД ШБИП
Экспериментальная часть	Ревва Инна Борисовна, доцент НОЦ Н.М.Кижнера, к.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.01.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Ревва Инна Борисовна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования:</i> реологические свойства керамического шликера.</p> <p><i>Область применения:</i> составы керамических шликеров для изделий санитарно-технического назначения.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) – Федеральный закон №426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» – ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования – ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования – ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ потенциальных опасных и вредных производственных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных производственных факторов</p>	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с чрезмерным загрязнением воздушной среды в зоне дыхания; – отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения; – производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды; <p><i>Опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды; – производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды; – подвижные части производственного оборудования; – производственные факторы, связанные с электрическим током.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p><i>Воздействие на атмосферу:</i> выбросы токсичных веществ и пыли.</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> загрязнение сточных вод.</p> <p><i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение почвы.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p><i>Возможные ЧС:</i> химическая авария, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения, пожар.</p> <p><i>Наиболее типичная ЧС:</i> пожар.</p>

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	01.02.2023
---	------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Гуляев Милий Всеволодович	–		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Имени Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.04.01 Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования. Расчет бюджетной стоимости НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. 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	Маланина Вероника Анатольевна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г91	Иванова Екатерина Сергеевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 100 страниц, 8 рисунков, 28 таблиц, 26 источников.

Ключевые слова: керамический шликер, фарфор, разжижаемость, тонкая керамика, разжижитель.

Объектом исследования является влияние добавок-электролитов на реологические и литейные свойства шликера.

Цель работы – определить влияние добавок на свойства керамического шликера.

В процессе исследования проводились опыты по зависимости показателя времени истечения шликеров от ввода добавок в состав.

Область применения: строительство, санитарно-техническая керамика.

Экономическая эффективность и значимость работы превосходит аналоговые.

В будущем планируется дальнейшая доработка и оптимизация технологии получения шликеров с необходимыми свойствами.

Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы	12
1.1 Фарфор.....	12
1.2 Электрофарфор	27
1.3 Шликерное литье	33
2 Объект и методы исследования.....	42
2.1 Описание установки	42
2.2 Методика эксперимента.....	43
3 Результаты экспериментального исследования	47
3.1 Расчет фазового состава фарфора по его химическому составу	47
3.2. Определение реологических характеристик шликера.....	53
4. Анализ результатов экспериментов.....	59
5 Социальная ответственность	61
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	61
5.2 Производственная безопасность.....	63
5.3 Экологическая безопасность	72
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	76
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	76
6.2 Планирование научно-исследовательских работ	81
6.3 Бюджет научного исследования	88
6.4 Определение ресурсной эффективности проекта	94
Заключение	97
Список использованных источников.....	98

Введение

Шликерное литьё – широко используемый метод, позволяющий получать керамические изделия с заданными параметрами. Данная технология зачастую применяется для получения полуфабрикатов и готовых отливок на производстве. Простота техники шликерного литья и возможность её комбинации с различными методами обуславливает частое её применение, в частности, при производстве строительных материалов. Данная технология повсеместно исследуется и улучшается, в частности, проводится поиск химико-физических методов для улучшений реологических качеств шликерных суспензий и удешевления производства.

В данной работе объектом исследования является изготовление шликерных суспензий. Предметом исследования является влияние добавок-дефлокулянтов (разжижителей) на реологические и литейные характеристики шликеров.

1 Обзор литературы

1.1 Фарфор

Термин «фарфор» используется для наименования широкого спектра керамических материалов, обжигаемых при высоких температурах для достижения прозрачности и низкой пористости. В англоязычной литературе термин «china» зачастую используется как синоним «porcelain» и оба переводятся на русский язык как «фарфор», однако данные материалы не идентичны. «China» представляет собой мягкую пастообразную разновидность фарфора, тогда как «porcelain» значительно более твердый [1]. Фарфор – один из важнейших керамических материалов, представляющих, помимо строительной отрасли, интерес в художественно-декоративном применении. Черепок его плотный, спекшийся, в изломе раковистый, просвечивается в тонком слое. Открытая пористость фарфора менее 0,5%, истинная 3–5%. Он обладает высокой прочностью, устойчив к действию кислот и щелочей, термостойкий.

В целом, фарфор может быть отнесён к изделиям тонкой керамики. Для производства тонкокерамических строительных изделий используются более высококачественные сырьевые смеси. В состав исходных смесей входит глина с повышенным содержанием каолина и чистые кварцевые пески. При производстве тонкой керамики строго контролируется содержание вредных примесей окислов железа и титана, значительно ухудшающих потребительские качества готовых изделий [2]. Кроме того, на каждом этапе производства сырьевые массы защищаются от случайного попадания в них даже небольшого количества красящих оксидов. Тонкокерамические изделия значительно отличаются от изделий из грубой керамики, в первую очередь, структурой. Керамическое тело, изготовленное из данного типа керамики, имеет однородный излом и тонкозернистым строением, макронеоднородность отсутствует. В свою очередь, все изделия из тонкой керамики подразделяются на изделия с плотно спечённым черепком (фарфор, кислотоупорные

материалы) и с неполностью спёкшимся черепком (полуфарфор, майолика и фаянс).

В отличие от грубой строительной керамики, исходные материалы для производства тонкокерамических изделий подвергаются тщательному длительному помолу в шаровых мельницах в течение 6 – 12 часов [3]. Несмотря на то, какой сорт материала требуется получить, первой стадией производства будет являться изготовление шликера. Из шликеров методом литья получают требуемое изделие.

Наиболее известные тонкокерамические строительные материалы – плитка фасадная, облицовочная, для полов. Однако изделия из тонкой керамики могут использоваться не только для индустриального строительства, но и в качестве художественно-декоративных предметов, например, фарфоровая посуда.

Среди наиболее известных изделий из фарфора следует упомянуть химическую посуду, электрические изоляторы, столовую и декоративную продукцию.

Фарфор является отличным изоляционным материалом, используемым при высоком напряжении, особенно на открытом воздухе, например, для высоковольтных кабелей, щеток силовых трансформаторов, изоляции высокочастотных антенн и т.д. Фарфор может быть использован в качестве конструкционного материала, как правило, в виде плитки или огромных прямоугольных панелей.

Несмотря на общемировую тенденцию на переход к более экологичным производствам керамики, производство изделий на основе фарфора растет с каждым годом. В 2017 году в мире было произведено около 13,5 миллионов квадратных метров фарфоровой плитки, что на 5% больше, чем в 2012 году [4]. По сравнению с другими видами керамической плитки, фарфор является одним из самых сложных керамических материалов. По этой

причине он широко изучается в связи с условиями обжига, составом материала, фазовой и микроструктурной эволюцией. Необходимо лучшее понимание свойств фарфора, особенно в отношении пропорций смешивания сырья и методов обработки. Это необходимо для повышения их механической прочности.

Не менее важным является поиск более экологичного оборудования для проведения важнейшего этапа в производстве фарфора – обжига. Так, исследования показали, что влияние одной обжиговой печи для фарфора на атмосферу эквивалентно 745 дровяным печам, что, в конечном итоге, может привести к изменению климата и накоплению парниковых газов [5].

Фарфоровые изделия бытового назначения классифицируются:

по форме, размерам, наличию глазурного слоя, назначению, комплектности, видам и группам сложности разделок и сортам

– по форме изделия делят на полые и плоские;

– по размерам - на мелкие и крупные;

– в зависимости от наличия глазурного слоя различают изделия глазурованные и неглазурованные;

– по назначению фарфоровые изделия на бытовую посуду, художественно-декоративную и прочие;

– по комплектности - одиночные и в виде комплектов; особенностью изделий, входящих в комплект, является единство декоративного оформления, конструкции и формы;

Выпускают комплектную посуду в виде сервизов, гарнитуров, наборов и подарочных комплектов, предназначенных для двух, четырех, шести и двенадцати человек. По функциональному использованию она подразделяется на столовую, кофейную, чайную, закусочную и изделия художественно-декоративного назначения [6].

1.1.1 Виды фарфора

Настоящий фарфор (твёрдый) – вид фарфора с высокой температурой обжига, обладает полупрозрачными свойствами. В состав керамической массы входит каолин и некоторые разновидности полевого шпата. Используется сырьевая смесь следующего состава: 40-60% каолина, 20-30% кварца и 20-30% полевого шпата. Рекомендуемая температура обжига данной разновидности – около 1450 градусов Цельсия. Высокая температура обжига помогает добиться большей прочности твёрдого фарфора даже при изготовлении из него тонких декоративных конструкций.

Мягкий фарфор – разновидность фарфора, для которой применима резка напильником в связи с её достаточной мягкостью. Рекомендуемый состав сырьевой смеси для производства фарфора такого типа: 25-40% каолина, 30-35% кварца и 25-40% полевого шпата. В связи с более низкой температурой обжига, мягкий фарфор имеет несколько более зернистую и пористую структуру, поскольку компоненты состава не до конца сплавляются друг с другом. Мягкий фарфор нашёл своё применение в скульптурной живописи, так как благодаря своей фактуре способен реалистично передавать черты лица, рук, тела в статуэтках.

Костяной фарфор – данная разновидность фарфора по составу близка к твёрдому, но содержит, помимо основных компонентов, добавку костной золы. При сжигании костей органические вещества сгорают, и остаются неорганические – карбонат кальция и фосфорная кислота. Данные вещества способствуют равномерному сплавлению всех компонентов, позволяя получить более стабильный конечный продукт. Кроме того, костяной фарфор требует значительно более щадящего температурного режима обжига, что позволяет избежать износа печей и меньшего количества брака. При высоком содержании костяной золы получается молочно-белый цвет, в то время как при низком содержании получается желтоватый оттенок. Уникальная особенность данного вида фарфора – необходимость двойного обжига при

разных температурных режимах. Именно данная особенность технологии костяного фарфора придаёт изделиям эстетически ценную мягкую окраску.

Помимо лабораторного анализа, который является наиболее точным, но занимающим продолжительное время, определить, из какого вида фарфора изготовлено изделие, является визуальное исследование неглазурованного или же разбитого изделия [7]. Определяют степень пористости или зернистости наблюдаемой поверхности. Как правило, зернистый излом черепка характерен для мягкого фарфора, тогда как плотный и равномерный является признаком твёрдого фарфора. Костяной фарфор более блестящий, чем мягкий, но менее глянцевитый, чем твердый. Кроме того, в целом, твёрдый фарфор и изделия из него являются наиболее прочными.

1.1.2 Технологии получения фарфора

Исходная сырьевая смесь для производства фарфора в обязательном порядке содержит три компонента: глину, полевой шпат и кварц. Металл алюминий может заменять кварц для увеличения механической прочности обожженного изделия, а нефелиновый сиенит служит ингредиентом, заменяющим полевой шпат [8]. Кроме того, важным также является контроль качества подаваемой воды на производстве. Как правило, используется водопроводная или питьевая вода, которая обычно содержит широкий спектр катионов, включая Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ . Даже при хорошо контролируемом городском водоснабжении уровень этих ионов может варьироваться, что приводит к существенным колебаниям реологии и пластичности суспензии.

Все керамические изделия имеют сходные между собой этапы производства. Основные этапы их производства являются общими и состоят из следующих операций: добыча сырья, приготовление массы, придание формы изделию, сушка и обжиг. Состав фарфорового тела и способ изготовления определяются исходя из назначения изделия, его формы и вида сырья. В зависимости от области применения и назначения изделия, подготовка сырья возможна сухим или же мокрым способом. Для многих

отраслей, использующих фарфоровые изделия, достаточной является сухая подготовка сырьевых материалов. Данный способ используется для бытовой посуды и плиток. На рынке электроизоляторов и коммерческой столовой посуды требуется влажная обработка для получения однородности смеси, необходимой для поддержания прочности и целостности готовых изделий. Очевидно, что отрасли, которые полагаются на шликерное литье (например, производство сантехники), и те, которые используют высушенный распылением гранулят для сухого прессования (например, в производстве электрических изоляторов низкого напряжения) необходимо использовать влажную обработку [8].

Сухая подготовка сырья – процесс сухой обработки сырья является наиболее простым, при котором смесь глины, кварца и полевого шпата смешивается непосредственно с водой. Количество воды варьируется в зависимости от удельной поверхности шихтовой смеси, количества примесей и использования разжижающих агентов. Как правило, используется от 18 масс.% до 21 масс.% воды. Смешивание осуществляется с помощью машины-смесителя, которая разрушает агломераты, тем самым достигается однородность получаемой смеси.

Влажная подготовка сырья - при влажной обработке сухие компоненты перемешиваются с использованием местной водопроводной воды в качестве диспергирующей среды; иногда в воду добавляют диспергирующие агенты. В некоторых случаях глинистым суспензиям дают вызреть (обычно порядка 24 часов) перед добавлением непластичных материалов (например, полевого шпата или нефелинового сиенита, кварца или оксида алюминия). После добавления непластичных материалов суспензиям иногда снова дают созреть, в течение этого времени вязкость регулируют с помощью добавление полимерных добавок или растворимых солей [9]. Смешивание сырья в виде суспензии обычно приводит к получению более однородной массы. На долю глинистого сырья приходится порядка 95% площади поверхности типичной

шихты; следовательно, коллоидное поведение глин доминирует над реологией фарфоровой сихты.

Созревание – типичный процесс, встречающийся в производстве фарфоровых изделий. Характеризует изменение реологических и пластических свойств с течением времени [10]. Исторически это явление объяснялось изменением уровня содержания органики с течением времени – ростом бактериальной флоры, который, как следствие, приводил к изменениям во взаимодействиях типа «частица – частица» [11]. Несмотря на то, что было обнаружено несколько штаммов бактерий, их «вклад» в процесс созревания керамических тел оспаривается. Химический состав суспензионной среды может изменяться с течением времени из-за растворения сырьевых материалов, особенно глин и флюсов, что приводит к повышению уровня катионов. В частности, частицы каолинита, по-видимому, не растворяются; однако ионы примесей, присутствующие в глинах в виде других разновидностей глины или в виде других минеральных фаз, являются очевидным источником катионов. Химический анализ воды, полученный в результате специальных исследований растворения и сточных вод фильтр-пресса показывает повышенный уровень катионов, который медленно увеличивается с увеличением времени. Кроме того, системы, содержащие монтмориллониты, обладают высокой способностью к катионообмену, позволяя одновалентным и двухвалентным катионам специфически адсорбироваться в структуре глины, в зависимости от ионной концентрации суспензионной среды. Повышение уровня катионов вызывает сжатие заряженного двойного слоя, что приводит к коагуляции частиц и значительным изменениям реологических свойств суспензий и пластмассовых изделий.

Подготовка изделий – керамические тела, как правило, изготавливаются путём удаления избыточной влаги с помощью фильтр-пресса [12]. Скорость фильтрации определяется содержанием твердых частиц в

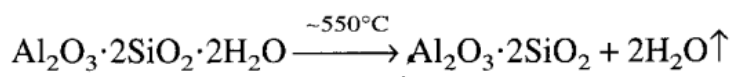
суспензии, степенью дисперсности и распределением частиц по размерам. Если масса слишком хорошо диспергирована, процесс фильтровального прессования является длительным, может произойти расслоение частиц по всему объёму, и полученная масса, вероятно, будет слишком жесткой для надлежащего формования. Если масса сильно флокулирована, процесс фильтровального прессования происходит очень быстро, но в изготовленном образце содержится слишком много воды, и сохранение необходимой формы после процесса формования проблематично.

Реология суспензии, подаваемой в фильтр-пресс, контролируется с помощью диспергаторов и коагулянтов, таких как CaCl_2 . Каждое производственное предприятие следует уникальным рекомендациям, которые были разработаны на основе многолетнего практического опыта. Исходная суспензия подвергается фильтровальному прессованию в процессах, основанных на шликерном литье при изготовлении, а осадки фильтр-пресса повторно диспергируются для получения шликерной отливки. Этот процесс служит двум целям: он удаляет растворимые частицы, что приводит к большему контролю над реологическими свойствами, и обеспечивает более экономичный способ производства.

Сушка и обжиг – системы, включающие компонент глины в свой состав, являются наиболее терпимыми к процессу сушки благодаря своим пластическим свойствам. Большую перспективу для дальнейшего развития имеет новая технология так называемой безвоздушной сушки. Температура, время и атмосфера в печи влияют на химические реакции и развитие микроструктуры в фарфоровом теле и, следовательно, играют важную роль в свойствах фарфора при обжиге. Быстрый обжиг фарфоровых изделий получил широкое признание и применение в производстве белой посуды, снижая производственные затраты за счет эффективного использования энергии в процессе обжига. Быстрый обжиг фарфоровых изделий требует знаний о химических реакциях, происходящих в процессе, и о развитии

микроструктуры. В ходе процесса обжига протекает ряд химических реакций, оказывающих влияние на прочностные и структурные характеристики изделий. Последовательность химических реакций при обжиге фарфоровых изделий зависит от типа сырья, из которого нужно получить изделие, но для типичной системы глина-кварц-полевой шпат основные этапы реакции - без учета удаления химически не связанных компонентов, таких как вода и органика - можно описать следующим образом:

Кристаллическая структура каолинита включает в себя гидроксильные группы, процесс отщепления гидроксильных групп и образование метакaoлина ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) происходит при температуре около 550 градусов Цельсия.

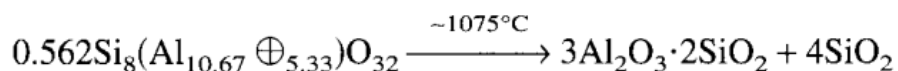


Это наблюдается в типичных аналитических исследованиях, таких как дифференциальный термический анализ (ДТА) и термогравиметрия (ТГА). Эти измерения также важны при разработке графиков быстрого обжига. Кинетика дегидроксилирования, которая, как полагают, относится к первому порядку, дает скорость дегидроксилирования, прямо пропорциональную площади поверхности каолина. Кроме того, процесс дегидроксилирования является эндотермическим процессом, который сопровождается реорганизацией октаэдрически скоординированного алюминия в каолините в основном в тетраэдрически скоординированный алюминий в метакaoлине.

Инверсия альфа-кварца в бета-кварц происходит при температуре в 573 градусов Цельсия. Из-за высоких показателей пластичности инверсия кварца не играет значительной роли во время цикла нагрева [13].

Метакaoлин трансформируется в шпинельную структуру и аморфный несвязанный кремний при температурах в диапазоне 950 – 1000 градусов Цельсия. Аморфный диоксид кремния, выделяющийся при разложении метакaoлина, обладает высокой реакционной способностью, что, возможно, способствует образованию эвтектического расплава при температуре -990°C .

Фарфоровые изделия обычно содержат две фазы муллита – первичную и вторичную. Точные причины возникновения и эволюции данных фаз продолжают изучаться. Однако фаза шпинели, которая является нестабильной, обязательно переходит в муллит при температуре около 1075 градусов Цельсия.



Когда тело начинает остывать, пиропластическая деформация и релаксация в стеклофазе предотвращают развитие остаточных напряжений до тех пор, пока не будет достигнута температура стеклования [14]. Когда тело охлаждается ниже температуры стеклования, возникают остаточные напряжения из-за несоответствия теплового расширения между стеклом и входящими в него кристаллическими фазами (например, муллитом и кварцем, а в некоторых случаях глиноземом и кристобалитом).

1.1.3 Свойства фарфора

Известно, что фундаментальная зависимость «состав-структура-свойства» характеризует керамику и изделия на её основе [15]. Под структурой керамических материалов понимается как микроструктура керамического камня, так и структура отдельных фазовых элементов. В отличие от производства металлических материалов, керамика, произведённая из природного минерального сырья, помогает избежать экологических проблем, связанных с процессом производства. Безопасность производства достигается благодаря стабильности оксидной керамики [14].

Фарфор – гетерогенный твердый материал, представленный тремя фазами – кристаллической, стекловидной и газовой. Основные свойства фарфора зависят от степени однородности фаз, их состава и распределения. Присутствие стекловидной фазы определяет довольно высокую механическую прочность фарфора [13]. Фарфор имеет высокий предел

прочности на сжатие (400÷700 МПа), значительно меньший предел прочности при растяжении (45÷70 МПа) и при изгибе (80÷150 МПа).

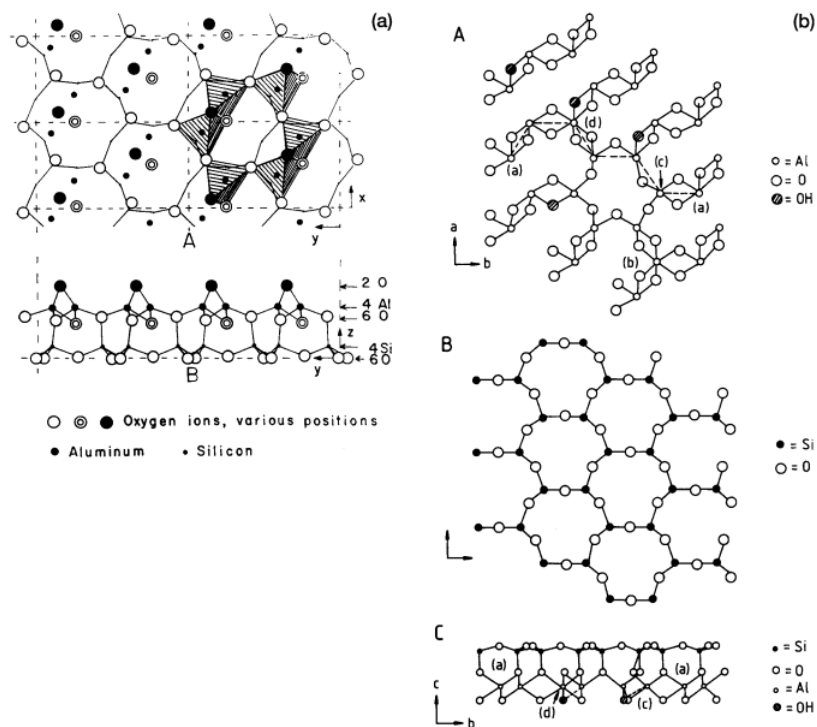


Рисунок 1.1 – Модель структуры метакаолина

При рассмотрении процессов, связанных с формированием фарфора, представляет интерес тройная диаграмма состояния Боуэна и Шерера $K_2O - Al_2O_3 - SiO_2$. Она показывает температуру тройной эвтектики, при которой начинается образование фазы стекла фарфора, путь и последовательность выделения кристаллических фаз [14].

Таким образом, основные процессы фарфорообразования происходят при температуре выше 1000 градусов Цельсия после появления жидкой фазы, связанной с плавлением полевого шпата .

Высокая устойчивость изделий из фарфора к термическому воздействию обусловлена присутствием кордиеритовых или муллитовых структур. Фаза муллита считается наиболее стабильной из бинарной системы $Al_2O_3-SiO_2$, главной составляющей кристаллической фазы фарфора. Наличие этой фазы является определяющим фактором для механических и

микроструктурных свойств материала. Структура муллитовой фазы зависит от входящего в состав керамической массы каолина, его структуры и состава. В свою очередь, существует два типа муллитовой фазы – первичная и вторичная. Первичный муллит возникает в результате трансформации фазы шпинели, полученной из метакаолина, тогда как вторичная фаза образуется путем взаимодействия глины и полевого шпата при температуре 1200 градусов Цельсия. Первый тип называется муллитом типа МII, который имеет мелкозернистую микроструктуру с зернистой морфологией. Вторым типом (тип-муллит МIII) имеет более крупные кристаллы с игольчатой морфологией. Свойства фарфора определяются наличием хорошо закристаллизовавшейся фазы муллита. Следовательно, температура спекания фарфора связана с образованием муллита в тройной системе глина–непластичный компонент–флюс. Следовательно, температура обжига фарфора не должна быть ниже температуры образования муллита (1150-1200 °С). Однако спрессованный порошок чистого муллита обладает низкой способностью к спеканию из-за низких коэффициентов взаимной диффузии ионов Si^{+4} и Al^{+3} в решетке муллита. Поскольку производство образцов высокой чистоты и мелкозернистого муллита является дорогостоящим, использование каолина в качестве основного сырья экономически важно. Были проведены исследования по увеличению содержания оксида алюминия в фарфоре для улучшения его механических свойств. Исследования также показали, что фарфор с высоким содержанием оксида алюминия обладает высокой термодинамической стабильностью и небольшим коэффициентом теплового расширения (ТЕС), что приводит к небольшому количеству дефектов материала в процессе изготовления. Кроме того, сообщалось, что высокоглиноземистый фарфор обладает превосходными механическими свойствами благодаря своей высокой ударной вязкости. В недавнем исследовании были проведены испытания в экстремальных условиях на изоляторах с высоким содержанием оксида алюминия и на обычных изоляторах, и только на первых не было обнаружено признаков разрушения.

Это было связано с уменьшением теплового расширения из-за присутствия оксида алюминия. Увеличение содержания оксида алюминия увеличивает атомарную плотность упаковки керамического материала, что повышает его устойчивость к распространению трещин. Однако, хотя механическая прочность изолятора с высоким содержанием оксида алюминия превосходна, его долговечность и срок службы не могут быть непосредственно увеличены из-за увеличения пористости в процессе спекания.

Достаточно широко исследованы свойства сырьевых материалов для изготовления фарфора, добываемых на территории Казахстана. всех балансовых запасов каолина СНГ сосредоточено в Казахстане. Каолины Южного месторождения являются наиболее перспективным сырьем для производства фарфора. В Казахстане известно восемь месторождений огнеупорной глины. Согласно химической и минералогической оценке, беложгущая огнеупорная глина Берлинского месторождения представляет наибольший интерес для изготовления тонкой керамики.

Кварцевые пески Мугоджарского месторождения уникальны своей мономинеральной и химической чистотой. Пегматиты являются традиционным источником полевых шпатов для производства керамики. Обширные месторождения пегматита известны в Центральном Казахстане. В данной работе в качестве полевошпатового сырья был использован один из типичных пегматитов Балхашского месторождения - Сарыбулак. Каолины Союзного месторождения тугоплавки при температуре 1600-1670°C. По содержанию глинозема они относятся к группе оснований. Красящие оксиды практически отсутствуют. По минеральному составу это сырье относится к каолинитам и среднедисперсно. Каолины обладают умеренной пластичностью (индекс пластичности равен 8) и средней степенью спекаемости (водопоглощение от 2 до 5%). После несложного обогащения исследуемые каолины соответствуют требованиям ГОСТ 21286-82 «Обогащенный каолин для керамических изделий». Глины Берлинского месторождения огнеупорны

при температуре 1580–1640°C. По содержанию глинозема они относятся к группе оснований. Содержание красящих оксидов среднее. По минеральному составу эти глины являются каолинит-гидрослюдистыми (каолинит – 40–70%, гидрослюдистые минералы – 5–15%, монтмориллонитовые – 5–15%, кварцевые – 5–32%) и мелкозернистыми. Глины обладают умеренной пластичностью 10-15,9, средней температурой спекания, равной 1250 градусов Цельсия и высокой степенью спекаемости. После обогащения улучшились технические и технологические качества сырья.

Небольшое добавление оксида титана увеличивает содержание вторичного муллита и за счет этого улучшает плотность и микроструктурные характеристики получаемой композиции [15].

В некоторых исследованиях предлагалась методология количественного определения содержания кварца в рецептурах фарфоровых плиток с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии. Статистическое факторное планирование использовалось для определения наилучших условий эксплуатации метода. Для получения калибровочной кривой были проведены дифференциальные сканирующие калориметрические анализы смесей оксида алюминия и кварца. Затем содержание кварца в заранее определенных рецептурах керамогранитных плиток определяли количественно с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии и сравнивали с содержанием, полученным с помощью метода Ритвельда. Согласно статистическому анализу, размер частиц существенно влиял на площадь пика превращения кварцевой фазы. t -критерий, используемый для сравнения средних значений номинального количества кварца, добавляемого в рецептуру, и количества, определенного методом дифференциальной сканирующей калориметрии, дал значения $p < 0,05$ и рассчитанные значения t выше критического значения (4,303). Хотя предложенный метод дал результаты, значительно отличавшиеся от

ожидаемых, то же самое сделал и метод Ритвельда, который в настоящее время используется исследователями [16].

1.2 Электрофарфор

Электрофарфор, разновидность электротехнической керамики, диэлектрик, используемый для высоко- и низковольтных линий электропередач и в производстве разнообразного электротехнического оборудования. Его свойства определяются химическим и фазовым составом, микро- и макроструктурой и технологией изготовления. Хотя при применении в электроизоляции ожидается, что фарфоровые изделия будут соответствовать минимальным требованиям двух последних - диэлектрическим (высокое удельное сопротивление, низкие диэлектрические потери) и механическим свойствам, они также должны обладать низкой атомной массой, низкой концентрацией дефектов, высокой жесткостью решетки, высокой чистотой с минимальными включениями, удельным сопротивлением от 10^{12} Ом до 10^{14} Ом. Электрические фарфоровые изделия были технологически усовершенствованы с точки зрения дизайна, производственного процесса и сырья, чтобы соответствовать самым высоким требованиям рынка.

Основными сырьевыми компонентами электрофарфора являются: каолин, глина, кварц, полевой шпат, гипс, пегматит, циркон. Высокие требования к электрофарфору обуславливают использование для его производства только чистого и стабильного по составу керамического сырья. Основным видом электрофарфора — полевошпатный. Выпускаются также глиноземный, цирконовый и ашаритовый электрофарфор. Максимальная температура обжига фарфора в зависимости от состава от 1300 до 1400°C . Изоляторный электрофарфор — низкочастотная установочная керамика. Изготавливают из специальных сортов глины, кварцевого песка и щелочного полевого шпата. При обжиге глина теряет кристаллизационную воду и, взаимодействуя с кварцем, образует основную кристаллическую фазу — муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Промежутки между кристаллическими зёрнами заполняются стекловидной фазой, возникающей за счет расплавления полевого шпата. Наличие стеклофазы обуславливает низкую пористость и

высокую плотность фарфора, его водонепроницаемость, достаточно высокую электрическую и механическую прочность. Однако из-за большого содержания щелочных оксидов в стеклофазе материал обладает значительными диэлектрическими потерями ($\text{tg}10^{-2}$), что затрудняет его использование на высоких частотах. Наиболее широко используемый электротехнический фарфор содержит примерно 70% SiO_2 , 25% Al_2O_3 и 5% других оксидов (K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3).

Технология позволяет изготавливать прессованием, пластическим формованием и отливкой изделия разнообразной формы размером от нескольких мм до 2–3 м. Электрофарфор имеет плотность 2, 3–5, 5 г/см³, температурный коэффициент линейного расширения $(3-6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, диэлектрическую проницаемость 5–7, удельное сопротивление $10^{11}-10^{12} \text{Ом.м}$ (при 20°C) и 10^7-10^8Ом.м (при 100°C), электрическая прочность $E_{\text{пр}}=25-30 \text{кВ/мм}$. Так как характеристики электрофарфора зависят от фазового состава, то изменяя состав можно изменять его основные параметры [17].

Однако из-за большого содержания щелочных окислов в стеклофазе материал обладает значительными диэлектрическими потерями, что затрудняет его использование на высоких частотах. Кроме того, за счет стеклофазы с повышением температуры ухудшаются электрические свойства фарфора.

Хотя электроглиноземистый фарфор обладает некоторыми преимуществами, в частности более высокой механической прочностью, кварцевый электрофарфор по-прежнему производится из-за его более низкой цены. Его электрические и механические свойства удобны для высоковольтных и низковольтных изоляторов в сетях распределения электроэнергии. Основное влияние на механические свойства кварцевого фарфора оказывает его микроструктура, в которой важную роль играют нерастворенные кварцевые зерна. Общеизвестно, что остаточные зерна кварца оказывают негативное влияние на прочность фарфора. Основные

проблемы, связанные с использованием кварца в электропечи, и способы уменьшения негативного воздействия кварца были недавно описаны Либерманом [18].

1.2.1 Сырьевые материалы для электрофарфора

Как и обычный фарфор, электрофарфор состоит из пластичных и непластичных материалов. Пластичные материалы представляют собой, как правило, глинистые минералы или каолиниты, при помощи их масса приобретает способность сохранять свою форму и не разрушаться. К наиболее часто применяемым непластичным компонентам относятся кварц и полевошпат, они способствуют снижению температуры обжига и уменьшению риска образования трещин после сушки.

Химический состав электрофарфора играет важную роль в его реакциях на изменение условий окружающей среды. Очевидно, что изменение условий окружающей среды, таких как температура и давление, может повлиять на срок службы большинства химически связанных соединений. Эти соединения имеют тенденцию изменять свой способ связывания и расщепления при незначительном изменении этих условий окружающей среды. Эти изменения играют важную роль в физических и механических свойствах электрофарфора, особенно в его изоляционных свойствах. Сообщалось об электрофарфоре, изготовленном с использованием технологии сухого прессования. Лучший образец электроизолятора, полученного этим методом, содержит 30% каолина, 10% шамотной глины, 22% полевошпата и 38% кварца. Образец показал нулевое водопоглощение после погружения в воду на 24 часа [19]. Это показывает, что в образце очень мало пор или промежутков, которые могли бы быть заметны, если бы образцу позволили дольше оставаться в воде. Небольшое количество воды или ее отсутствие приводит к тому, что электрофарфор обладает высокой насыпной плотностью, высокой нагрузкой при откате и очень хорошим сопротивлением при использовании при высоких напряжениях. Напряжение пробоя,

диэлектрическая проницаемость и два удельных сопротивления указаны как 26 кВ/мм, 10,8, 7.14×10^7 Ом-м и

1.97×10^7 Ом-м соответственно. Напряжение пробоя свидетельствует о том, что образец обладает высокой механической прочностью, позволяющей выдерживать высокое напряжение, в то время как диэлектрическая проницаемость свидетельствует о том, что это хороший изоляционный материал. Диэлектрическая проницаемость хорошего изоляционного материала должна быть ниже 12, а разрывное напряжение - ≥ 25 кВ/мм. Оба удельных сопротивления были высокими и превышали рекомендуемое значение для хорошего изолятора, подтверждая соответствие требованиям фарфора к изоляции.

Полевой шпат, 50–70% глины и 10–20% кварца показали высокую линейную усадку – 7,27–9,24% и 8,33–9,68% по сравнению с другими результатами. Электрофарфор показывает кажущуюся пористость 16,81–20,80% и 14,00–17,30%, в то время как водопоглощение для обеих глин также высокое (8.9–12.15%; 8.33–10.84%). Высокие показатели пористости и водопоглощения являются результатом использования непластичных материалов при производстве электрофарфора. Эти непластичные материалы создают больше пор или пространств, которые позволяют задерживать влагу в электрофарфоре. Высокое водопоглощение и пористость неблагоприятно сказываются на эксплуатационных характеристиках, поскольку присутствие влаги снижает электрическое сопротивление. Чтобы устранить эту проблему, хороший фарфор должен иметь высокое содержание пластичных материалов и должен быть надлежащим образом глазированным. Электрическое сопротивление – это способность изолятора противостоять протеканию тока.

Существуют исследования, где заменой кварца при производстве электрофарфора служила зола листьев бамбука, что может способствовать снижению себестоимости производства. В исследовании сравнивается замещение кварца золой в различных концентрациях соответственно.

Свойства образцов сравнивались со свойствами стандартного фарфора, приготовленного по методике промышленного стандартного керамического материала. Химический состав показал, что зола бамбуковых листьев также включает высокое содержание SiO_2 , как и кварц, полевой шпат и каолин. Два образца полученного электрофарфора содержат каолин (27-40%), пляжный песок (20-24%), шаровидную глину (13-18%) и полевой шпат (25-40%). СЭМ-анализ материалов показал небольшие однородные размеры частиц и их радиальное распределение для каолина и шариковой глины, в то время как песок и полевой шпат относительно крупнее и неоднородны по размерам [20].

Рентгенография определила, что кварц имеет самую высокую пиковую интенсивность среди каолина, песка, полевого шпата и шариковой глины. Другими выявленными пиками являются мусковит, вермикулит и слюда в каолине; кальцит и альбит в песке; вермикулит и слюда в шаровидной глине; микроклин и альбит в полевоом шпате. По мере увеличения размера частиц сообщалось об увеличении процентной усадки для различных образцов, что было связано с падением пластичности фарфоровых материалов. Это наводило на мысль о том, что радиальное распределение частиц было основная причина пластичности глинистых материалов. Ранее сообщалось, что более крупные частицы вызывают растрескивание стекловидной фазы электрофарфора по сравнению с мелкими частицами, которые могут легко расплавиться и смешаться со смесью. Чем меньше размеры частиц, тем больше потери при воспламенении. Два образца (А и В) были измельчены с различным количеством оксида циркония (155,85 г и 500 г). Образец А показал прочность на изгиб менее 50% от значения образца В. Присутствие ZrO_2 способствует повышению механической прочности образца из-за мелкодисперсности частиц ZrO_2 . Образец с большим количеством каолина (37%), шариковой глины (18%) и ZrO_2 , но с низким содержанием полевого шпата (25%) показал самое высокое напряжение разрыва – 53,4 кВ при прочности на разрыв 10,45 кВ/мм при комнатной температуре. Он также показал высокую прочность на

изгиб – 71 МПа, что выше стандартного значения для штифтового типа электрофарфора. Этот же образец также продемонстрировал очень высокую диэлектрическую прочность по сравнению с другими. В отчете говорилось, что очень важно использовать мелкое распределение частиц по размерам для достижения желаемого результата при производстве электротехнического фарфора.

В некоторых других исследованиях также изучался оптимальный состав сырьевой смеси для производства электрофарфора - 30 мас.% каолина и глины, 30 мас.% полевого шпата, 25 мас.% глинозема (корунда) и 15 мас.% огнеупорных глин. Изготавливались плоские диски путем холодного изостатического прессования порошка, полученного из водной суспензии этих компонентов (после распылительной сушки), при комнатной температуре, под давлением 125 МПа. Текстуру изучали на полученных образцах, в образцах, нагретых до 600°C со скоростью нагрева 2°C/мин, и в образцах, подвергнутых обжигу при температуре 1430°C в течение 30 минут. Электрофарфор на основе оксида алюминия холодного изостатического прессования является, с точки зрения дифракции рентгеновских лучей и электропроводности постоянным током, изотропным. Было обнаружено, что общая усадка и водопоглощение уменьшаются по мере увеличения количества пластичных материалов. Это связано с тем, что глина помогает заполнить поры в фарфоровом изоляторе, но средние значения образцов по-прежнему находятся в пределах допустимых значений для обоих параметров. Увеличение содержания каолина привело к незначительному снижению насыпной плотности, хотя содержание полевого шпата увеличивалось. Это было связано с различной величиной потерь при прокаливании каолина (7,49) по сравнению с полевым шпатом (0,73), полученной при рентгеноструктурном анализе. Было установлено, что аварийные нагрузки прямо пропорциональны содержанию каолина, показывая, что прочность электрофарфора в основном зависит от пластичных материалов [21].

Диэлектрическая постоянная образцов (8,7–11,4) показала, что из них получится хороший изолятор, поскольку они соответствуют рекомендуемому значению для хорошего диэлектрического изолятора (ниже 12,0). Это говорит о том, что вероятность поражения электрическим током невелика, поскольку изолятор обладает хорошей емкостью для накопления заряда. Образцы демонстрируют электрическое сопротивление, превышающее рекомендуемый диапазон 1.0×10^6 , что является показателем качества хорошего изолятора. В целом, это говорит о том, что тонкая природа порошка талька помогла усилить свойства других компонентов фарфоровых изоляторов. Образец с составом 20,63% каолина, 7,37% пластичной глины, 35,0% полевого шпата, 35,0% кварца и 2% талька обладают наилучшими изоляционными свойствами для электрофарфора [22].

1.3 Шликерное литье

Керамические материалы широко используются в технологиях, работающих в условиях высоких механических, термических или химических ограничений. Исследования в области обработки керамики направлены на создание керамики со свойствами, которые все еще трудно получить, такими как прочность, прозрачность, электропроводность и другими. Литье с магнитным шликером - процесс, при котором внешнее магнитное поле используется для создания контролируемой текстуры керамики. За последние 20 лет исследований в области литья под давлением с магнитным шликером было обнаружено, что плотная и текстурированная керамика с различными химическими составами обладает улучшенными свойствами. В ряде исследований рассматривается прогресс в области литья под давлением с магнитным шликером, подробно описываются параметры обработки и текстуры, полученные для широкого спектра композиций. Представлены структурные и функциональные свойства магнитно-текстурированной шликерной литой и спеченной керамики [23]. Этот обзор процесса литья под

давлением с магнитным шликером позволяет определить важнейшие направления будущего развития передовой технической керамики.

Шликерное литьё – один из самых широко известных и сравнительно давно используемых методов для получения полуфабрикатов и готовых отливок в керамическом производстве. Шликерное литьё наиболее часто используется для получения фарфора, посуды, сантехнического оборудования, биомедицинских компонентов [24].

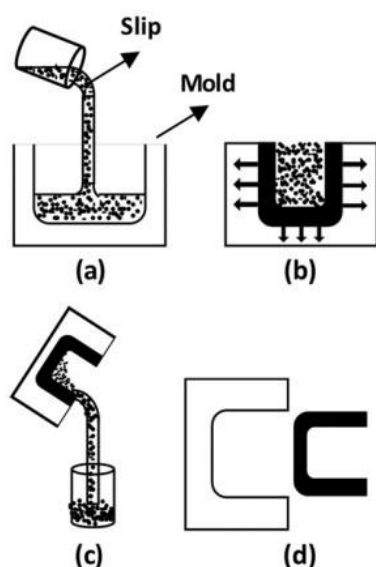


Рисунок 1.2 – Базовая техника шликерного литья

Данный процесс представлен несколькими основными стадиями, которые показаны на рисунке. Первый ключевой технологический процесс – приготовление водной суспензии тонкодисперсных керамических порошков. Впоследствии жидкость заливают в сосуд с микропорами, добиваясь таким образом частичного удаления влаги под действием капиллярного давления. Благодаря удалению части воды, образуется плотный слой керамического тела на стенках формы. После достижения необходимой толщины изделия, оставшийся шликер выливают из формы (метод сливного литья). Пустотелые изделия или изделия по типу керамических оболочек получают с помощью данного метода. Для производства крупных или тяжелых керамических элементов, к полуфабрикату доливают шликер до формирования полнотелого

изделия (сплошное литьё). Отделение формы от твёрдого сформированного тела, как правило, достигается при помощи сушки, в результате которой происходит некоторая усадка изделия. Технологический процесс шликерного литья требует точного контроля показателей скорости литья, реологических свойств шликера в ходе его наливания и сушки, предела текучести, усадки, свойств отливки при извлечении её из формы. Коллоидные и реологические свойства водных порошковых суспензий являются важными факторами, которые необходимо тщательно изучить. В идеале литейные суспензии должны быть псевдопластичными с достаточно низкой вязкостью для удобства обращения во время перекачки и заполнения формы. Высокие твердые нагрузки также благоприятны для улучшения фильтрации при шликерном литье. Кроме того, плотность и предел текучести суспензии должны быть достаточно высокими, чтобы избежать неравномерного осаждения частиц в суспензии. Таким образом, для удовлетворения этих требований предлагается использовать системы с полидисперсным размером частиц и органические полимеры (диспергаторы, пластификаторы, связующие, модификаторы вязкости). Вода является наиболее типичной жидкостью для приготовления суспензии, однако некоторые порошки, такие как MgO , CaO , Si_3N_4 и AlN , могут вступать в реакцию с водой. В таких случаях вместо воды можно использовать спирты, трихлорэтилен и метилэтилкетон.

Другим важным показателем следует принять плотность упаковки отливки, которая должна быть однородной для уменьшения неравномерной усадки, поскольку такая усадка, в свою очередь, может привести к образованию трещин на стадиях сушки, обезжиривания и спекания. Кроме того, процесс диффузии органических полимеров в капиллярные пространства формы может повлиять на воспроизводимость литья, а также повредить пресс-форму.

Форма, используемая для отливки изделий из шликерной суспензии, также является важнейшим технологическим компонентом. Материал пресс-

формы отвечает за капиллярный отвод жидкости, а, следовательно, и за качество готового керамического изделия.

Наиболее широко используемый материал для изготовления форм – гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), получаемый в ходе следующей реакции в промышленности:



В качестве проницаемой формы гипсовые формы обладают пористостью 40-50% и очень выгодны благодаря своей низкой стоимости, высокой доступности, малому размеру пор, хорошим воспроизводимым свойствам адсорбции воды, гладкой поверхности и широкому разнообразию форм.

Поры кристаллов гипса соединены между собой капиллярами (типичный диапазон диаметров от 100 нм до 5 мм) и заполняются водой в процессе литья. Размер пор и пористость зависят от соотношения вода-гипс. Более высокое соотношение воды и гипса приводит к более высокой пористости и увеличению размеров пор, что, в свою очередь, приводит к более высокой способности к адсорбции воды, однако прочность форм параллельно снижается. Кроме того, гипсовые формы обычно обладают низкой стойкостью к термическому удару, и при нагревании выше 401°C во время сушки наблюдается высыхание гипса. Кристаллическая структура и время схватывания гипсовых форм зависят от температуры, времени перемешивания и электролитов в воде, и в идеале их следует контролировать для обеспечения воспроизводимости форм и скольжения.

Оптимальное количество разжижителя для суспензий, изготовленных из полиэлектролитов, составляло 1%. Как известно, при увеличении количества диспергатора до 1 мас.% добавленной твердой фазы значения вязкости сначала снижались, а затем увеличивались, что указывает на наличие диспергатора поглощение при $\text{pH} = 12-11$ и присутствии дополнительного

диспергатора в суспензии при его более высоких значениях. Согласно этим значениям, для суспензии, содержащей 30 мас.% и коэффициент рассеивания, равный 1 мас.% твердой фазы при $pH=11,8$, вязкость достигла своего наименьшего значения, и это значение было равно pH раствора. Таким образом, при этом значении pH диспергатора Долапикс достиг наилучшей дисперсности и должен использоваться в суспензии для созревания иттриево-магнезиального раствора нанокompозита. Это значение pH наблюдалось при использовании 1%. Значение pH вязкости было увеличено за счет увеличения значений pH выше $pH = 12$. Причина такого увеличения была связана с отсутствием адекватной дисперсии и негативным эффектом абсорбированного диспергатора в суспензии. Кроме того, при неправильной регулировке pH полимерных цепей не действует должным образом на поверхность частиц, что приводит к увеличению вязкости суспензии. Все суспензии обладают аквазипластическими свойствами. То есть скорость вязкости снижалась за счет увеличения скорости сдвига. Примечательно, что это поведение было изменено с оригинальным типом порошка. В то же время синтезированная суспензия наночастиц с использованием предшественника хлора имела гораздо меньшие отклонения по сравнению с таковыми в ньютоновском состоянии [25].

Даже если гипсовые формы подходят для механической обработки и рассматриваются как экономичный вариант литья шликером, они обладают ограниченным сроком службы (максимум 80–100 отливок) и имеют длительное время высыхания для удаления воды из-за их низкой износостойкости и ограниченной температурной стабильности. Следовательно, массовое производство широко используемых керамических деталей предпочтительно может осуществляться с использованием прочных полимерных форм. Полимерные материалы со структурой открытых пор могут демонстрировать высокую водопроницаемость, механические и усталостные характеристики при меньшей деформации и длительном сроке

службы (в зависимости от типа используемого материала). Пористые материалы на основе полиметилметакрилата (ПММА) являются наиболее широко используемыми полимерными формами, которые могут сократить период литья за счет уменьшения стадии сушки. В полимерных формах обезвоживание может быть достигнуто с помощью системы продувки воздухом.

Шликерное литье является перспективной технологией для дальнейшего изучения, поскольку это процесс на водной основе, который обеспечивает высокую гибкость составов суспензий и комбинирование с другими процессами. Например, шликерное литье применялось к суспензиям, изготовленным из металлических порошков, керамических и металлических смесей, и сочеталось с непрерывным перемешиванием потоков суспензий и давлением. Кроме того, литье под давлением – это метод, который был хорошо изучен и смоделирован. Поскольку для отрасли обычно нежелательно кардинально менять свою производственную систему, идеальным способом улучшить устоявшийся процесс является его дополнение оборудованием или этапом обработки. Например, были использованы прессование и центрифугирование во время литья. За последние около 20 лет сочетание магнитных полей с производственными процессами изучалось как средство улучшения свойств плотных материалов путем текстурирования. Магнитные поля, используемые в ряде исследований - внешние поля, которые создают притягивающие или отталкивающие силы на парамагнитной или диамагнитной материи.

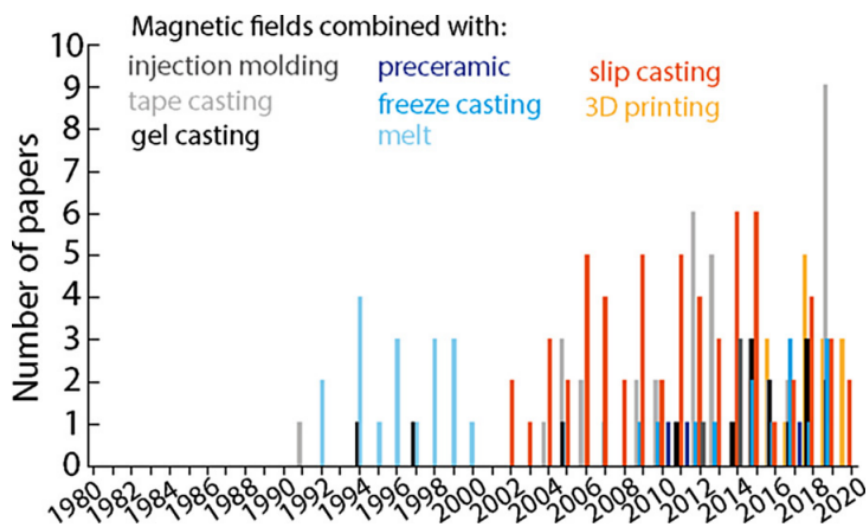


Рисунок 1.3 – Статистика по числу исследований, применяемых к методу магнитных полей

При применении к суспензиям частиц на жидкой основе магнитные поля могут изменять положение и ориентацию частиц. При литье с магнитным шликером в процессе литья применяется внешнее магнитное поле для ориентации предпочтительной кристаллической оси керамических зерен. Большинство керамических фаз, за исключением ферритов и шпинели, являются диамагнитными. Приложение внешнего магнитного поля к диамагнитному материалу индуцирует внутреннее магнитное поле в другом направлении, вызывая силу отталкивания. Как правило, для создания такого индуцированного внутреннего магнитного поля напряженность приложенного поля должна быть очень высокой, поскольку магнитная восприимчивость диамагнитных материалов слаба. Преобразование диамагнитного керамического порошка с использованием магнитных элементов – это способ повысить его магнитную восприимчивость и снизить требуемую напряженность внешнего магнитного поля. Ориентация керамического порошка зависит от кристаллической анизотропии или формы исходного керамического порошка. Литье под давлением – это автоматизированный производственный процесс, при котором применяется внешнее давление для увеличения скорости фильтрации для

крупномасштабного производства сложных и толстых деталей за более короткий производственный цикл по сравнению с обычным шликерным литьем. В отличие от шликерного литья, где фильтрация происходит за счет капиллярного воздействия, литье под давлением достигается применением внешнего давления, которое обычно варьируется от среднего (0,3–0,4 МПа) до высокого (до 4 МПа) уровня в зависимости от размера изготавливаемого материала и типа формы.

Процесс литья под давлением работает по аналогичному принципу с процессом фильтрации под давлением, когда жидкость удаляется путем вдавливания шликера в пористую форму, служащую фильтром.

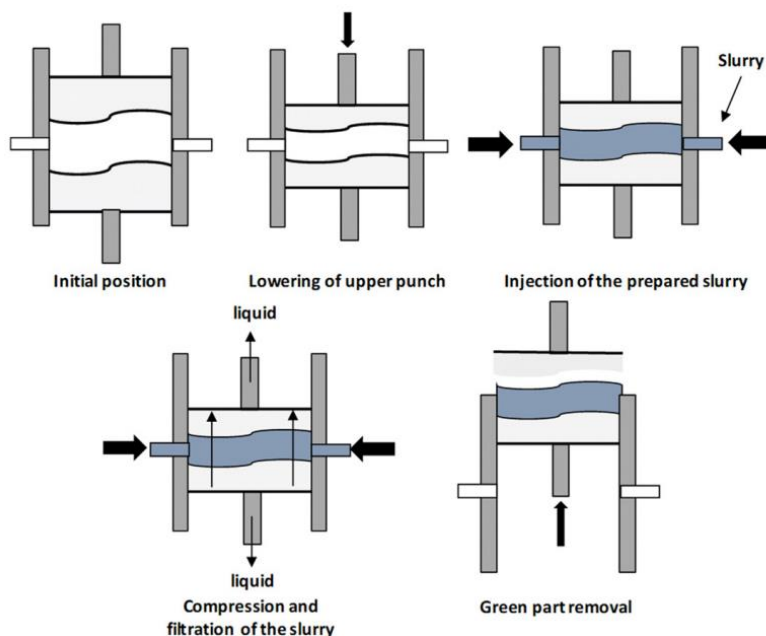


Рисунок 1.4 – Процесс шликерного литья под давлением

Технология литья под давлением позволяет сократить время изготовления на порядок, что, в свою очередь, приводит к значительному снижению затрат на изготовление. В исследовании Гейнера и Картера сообщалось, что применение давления скольжения до 1,5 МПа приводило к увеличению толщины отливки в 2-3 раза, а время отливки стенки толщиной в 1 см сократилось с 1-2 ч до менее чем 20 мин [26]. Кроме того, сушка гипсовых

форм является одним из наиболее длительных и трудоемких этапов, занимающих большие площади в обычных системах литья.

2 Объект и методы исследования

В работе определялись литейные характеристики шликерных суспензий (текучесть, загустеваемость, разжижаемость) при помощи вискозиметра Энглера. При помощи метода гипсовых стерженьков определяли скорость набора массы.

2.1 Описание установки

По своему устройству вискозиметр Энглера (рис 2.1) представляет собой два сосуда, вставленных друг в друга, и соединенных между собой трубкой диаметром 6 мм. Внутренний сосуд используется в качестве ёмкости для испытуемого шликера, внешний выполняет роль термостата. Необходимо устанавливать вискозиметр так, чтобы сливная трубка была строго перпендикулярна ко дну внутренней ёмкости. Внутренний сосуд закрывается крышкой с двумя отверстиями. Каждое из них выполняет определенную роль – одно предназначено для установки термометра, второе – для введения запорного стержня.

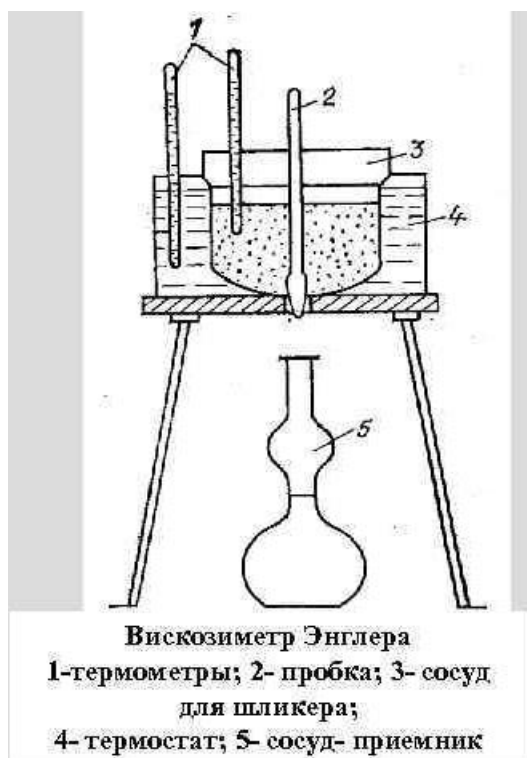


Рисунок 2.1 – Строение вискозиметра Энглера

2.2 Методика эксперимента

2.2.1 Определение текучести

Текучесть шликерных суспензий определялась по следующей методике:

1. Отверстие сливной трубки закрывают запорным стержнем, под выпускное отверстие устанавливают мерную колбу емкостью 100 мл.

2. Испытуемый шликер заданного вещественного состава, увлажненный до сметанообразного состояния, пропускают через сито № 05 и заливают в цилиндр вискозиметра.

3. Залитый шликер перемешивают три минуты, затем дают отстояться 30 секунд, после чего открывают сливное отверстие, включая секундомер (следят, чтобы шликер не загрязнял внутренние стенки узкой части мерной колбы).

4. Как только уровень шликера в колбе достигнет метки, отключают секундомер и закрывают сливное отверстие.

По результатам эксперимента определялось время истечения шликера. Оптимальные показатели текучести фарфоровых, фаянсовых, полуфарфоровых шликеров лежат в пределах 7 – 25 с.

2.2.2 Определение загустеваемости шликерной массы

Загустеваемость шликерной суспензии определяется также при помощи вискозиметра Энглера. Для этого проводилась серия опытов, в ходе которой последовательно измеряли скорость истечения шликера после 30 секунд выстаивания и после 30 минут выстаивания; в каждом опыте время измерялось по три раза. Число загустеваемости определяется по уравнению:

$$C_3 = \frac{\tau_2}{\tau_1}$$
, где τ_1 – средний арифметический показатель времени истечения после 30 секунд выстаивания, τ_2 – средний арифметический показатель времени истечения после 30 минут выстаивания шликерной суспензии.

2.2.3 Определение разжижаемости шликерных масс

Под понятием разжижения шликерной суспензии понимают совокупность физико-химических методов воздействия на коллоидную систему, обеспечивающую снижение её способности удерживать воду. При помощи введения некоторого вида добавок удаётся оптимизировать реологические свойства шликера и снизить его способность задерживать влагу.

Разжижаемость шликерных масс определяли следующим образом:

1. Приготовление смеси, состоящей из тонкоизмельченной керамической массы и дистиллированной воды. Полученную суспензионную смесь перемешивают и выстаивают в течение 30 мин. Визуально необходимо наблюдать за консистенцией получаемого шликера, она должна быть сметанообразной. Если шликерная масса очень густая, необходимо добавлять по 5 мл дистиллированной воды и наблюдать изменение текучести.

2. Разбавление шликерной массы водой повторяем до тех пор, пока шликер не приобретает оптимальной подвижности (влажность составляет 30-70 %).

3. Практическим путём определяем интервал рабочей влажности шликера путём исследования зависимости изменения скорости истечения шликера от увеличения содержания воды в нём.

4. По полученным данным строится график, на оси абсцисс откладывается значение величины влажности шликера, а на оси ординат – время истечения шликера.

5. За рабочий интервал влажности принимается влажность шликера, при которой скорость его истечения из вискозиметра находится в пределах от $\tau=5$ с до $\tau=25$ с.

6. Находим оптимальную рабочую влажность шликера, отвечающую скорости истечения $\tau=10$ с

7. Готовим шликер из сухой смеси с оптимальной влажностью и определяют разжижаемость. В шликер при постоянном перемешивании вводят разжижитель в количестве от 0,05 до 0,5% через каждые 0,05% и определяют скорость истечения.

8. По результатам опыта строят график содержание электролита – скорость истечения. За оптимальное количество добавки электролита принимают величину, соответствующую количеству добавки, при которой скорость истечения шликера составляет $\tau = 7$ с.

2.2.4 Определение скорости набора массы методом гипсовых стерженьков

Метод гипсовых стерженьков по сравнению с методом гипсовых тигельков более быстрый и точный.

1. Берут 15 стерженьков, делают на одном конце метки (40 мм по длине) и каждый стерженец взвешивают с точностью до 0.01 г.

2. Испытуемый шликер заливают в стеклянный стакан емкостью 250-300 мл.

3. Стакан со шликером помещают на столик штатива, в котором укрепляют три стерженька.

4. Стерженьки помещают до меток в шликер и выдерживают в течение 2.5 мин, после чего вынимают. Дают избытку шликера стечь с гипсовых стерженьков, помещают их на предварительно взвешенные часовые стекла и взвешивают.

5. Такую же операцию проводят при выдержке стерженьков в шликере в течение 5, 10, 15 и 20 минут.

6. Вес сухого вещества набранного слоя массы и скорость набора вычисляют по формулам:

$$m_n = \frac{(m_{св} - m_{сг})(100 - W_{ув})}{100}, \text{ Г}$$

$$U_n = \frac{m_n}{S\tau}, \text{ Г/см}^2 \cdot \text{с}$$

где m_{cc} - вес гипсового стерженька перед опытом, г;

$W_{ш}$ – влажность шликера, %;

S – рабочая поверхность стерженька, $см^2$;

τ – время набора массы, с;

m_{cb} - вес стерженька с сырой отливкой, г.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» включает в себя анализ, оценку практичности и целесообразности научно-исследовательской работы, коммерческой привлекательности конечной продукции данной НИР. Также рассматривается востребованность продукта на рынке, бюджет научного исследования, время необходимое для продвижения разработанного продукта на рынок. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести оценку коммерческого потенциала и ресурсной, экономической эффективности научно-исследовательской работы;
- составить календарный план работ;
- оценить стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов для исполнения проекта

6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым продуктом научно-исследовательской работы являются добавки-дефлокулянты (разжижители) для керамических шликеров. Отрасли, в которых нашли применение разжижающие добавки – строительство, в частности, производство керамических плиток. Основная цель использования разжижающих добавок на производстве – регулирование реотехнологических свойств керамических масс. Благодаря применению разжижителей возможно добиться оптимальных показателей вязкости и текучести, что снижает затраты на производство керамических изделий.

В целом, говоря о рынке разжижающих добавок, можно сказать, что различные их классы производятся как в России, так и за рубежом. Однако, как правило, зарубежные дефлокулянты достаточно дорогостоящие, поэтому актуальным является разработка, производство и определение оптимального процента ввода отечественных разжижающих добавок, позволяющих снизить себестоимость производства. Различные классы добавок-дефлокулянтов используются заводами по производству декоративной, санитарно-технической и другого рода керамических изделий.

6.1.2 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 таблице 4.1.

Наиболее известным является импортный дефлокулянт Reotan LRC (компания Laberti, Италия) и Акремон D-1AA (компания Оргполимерсинтез, Россия). В своём техническом решении не происходила разработка принципиально нового вида разжижающей добавки, эксперименты проводились с участием дефлокулянта Dolapix G10 (Германия).

В данном разделе мы подобрали ряд критериев продукта, основываясь на его основных полезных характеристиках. Действие разжижающих добавок основано на обволакивании частиц глинистого материала, что вызывает стерическое отталкивание частиц друг от друга, и происходит повышение текучести шликера. Диспергирующая добавка должна оказывать влияние на реотехнологические характеристики шликера при минимальном проценте вводе для экономичности, быть стабильной, иметь оптимальный показатель рН, а также быть безопасной для человека.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

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. Безопасность	0,16	5	5	4	0.80	0.80	0.64
2. Химическая устойчивость	0,13	4	4	5	0.52	0.52	0.65
3. Дозировка	0,10	5	5	5	0.5	0.5	0.5
4. Вязкость	0,10	4	5	5	0.4	0.5	0.5
5. Термическая устойчивость	0,09	5	4	5	0.45	0.36	0.45
6. Химическая стойкость	0,12	5	4	4	0.6	0.48	0.48
7. Показатель pH	0,08	5	4	4	0.4	0.32	0.32
Экономические критерии оценки эффективности							
8. Цена	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,13	4	3	3	0,52	0,39	0,39
10. Доступность на рынке	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	45	42	44	4,55	4,23	4,33

Исходя из оценочной карты сравнения конкурентных технических и экономических решений, данная разработка превосходит, по суммарной оценке технических и экономических показателей, своих конкурентов.

Б_ф – продукт проведенной исследовательской работы,

Бк1 – Laberti,

Бк2 – Оргополимерсинтез.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (4.3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT – (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) – является комплексным анализом научно-исследовательского проекта. Этот метод анализа используется для исследования внешней и внутренней среды, установления сильных и слабых сторон проекта.

Для проведения анализа составляется матрица. Результаты приведены ниже в таблице 4.2.

Таблица 6.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Сравнительно безопасен для человека С2. Высокий диапазон устойчивости к изменению рН среды С3. Хорошая химическая стойкость С4. Требуется небольшой процент ввода по сравнению с аналогами	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Высокие требования к конечному изделию Сл2. Необходимость дальнейшего проведения исследований Сл3. Сложность поиска необходимого сырья для производства. Сл4. Необходимость проведения химического анализа нового сырья.
Возможности: В1. Разработка отечественных комплексов разжижителей, включающих Dolapix В2. Поиск новых технологий для улучшения реологических характеристик шликеров.	1. Разработка дефлокулянтов из органического сырья позволяет снизить стоимость продукта. 2. Рост доли рынка на данную продукцию 3. Повышение конкурентоспособности путем увеличения характеристик с помощью ввода добавок в сырье.	1. Выбор определенного сырьевого состава и примесей для поддержания требований к продукту. 2. Развитие исследований в данном направлении, что позволит держать конкурентоспособность
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на качественный продукт и новые технологии. У2. Развитие конкуренции на данном сегменте рынка У3. Малый рынок сбыта, в следствии конкуренции с фирмами из других стран У4. Не своевременное финансирование научного исследования	1. Развитие технологии производства дефлокулирующих добавок позволит продукту выйти на новый уровень конкуренции и сохранить свою потребность на рынке.	1. Совершенствование технологии в соответствии с конкурентными преимуществами и требованиями. 2. Поиск новых поставщиков сырья.

Проанализировав данные таблицы, можно сделать выводы о том, что, хотя добавка-дефлокулянт, используемая в исследовании, производится немецкой фирмой и возможны проблемы с импортозамещением, это может в дальнейшем стимулировать продолжение исследований в данной области. К примеру, производство своих собственных добавок-разжижителей в комплексе с Dolapix, что позволит уменьшить процент его ввода и снизит себестоимость производства.

6.2 Планирование научно-исследовательских работ

6.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам деятельности приведен в таблицах 4.4 и 4.5.

Таблица 6.3 – Рабочая группа проекта.

№ п/п	ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1.	Ревва Инна Борисовна, Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера, Кандидат технических наук	Руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта; постановка целей и задач; контроль сроков выполнения научных работ по проекту
2.	Иванова Е.С., бакалавр	Исполнитель проекта	Выполнение научного проекта

Таблица 6.4 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления и темы исследования	1	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	2	Выбор темы исследования	Научный руководитель, студент
	3	Изучение литературы по заданной тематике исследования	Студент
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	Научный руководитель
Проведение исследования	6	Подготовка шликерной суспензии	Студент
	7	Исследование разжижаемости шликера	Студент
	8	Проведение экспериментов с дефлокулянтами	Студент
	9	Отливка изделий	Студент
	10	Определение качества отливок	Студент
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка и анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
	12	Обобщение и формулировка выводов о проведенном научном исследовании	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по работе	13	Составление отчетной документации исследования	Студент
	14	Сдача проекта	Студент

6.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудоемкость работ определяется, как сумма трудоемкости этапов и видов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому ожидаемое время выполнения работ $t_{ож}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + t_{max}}{5};$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость выполнения отдельных видов работ, человеко-дни;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни.

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

$$T_э = \frac{t_{ож}}{N \cdot P} \cdot K_д; \quad (4.2)$$

где $T_э$ – продолжительность работы в рабочих днях;

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы;

N – количество исполнителей; ($N = 2$)

P – число смен; ($P = 1$)

$K_д$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время для консультаций и т. п. ($K_д = 1.2 \div 1.25$).

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:

$$T_{k i} = T_{pi} \cdot k; \quad (4.3)$$

где, $T_{k i}$ – продолжительность выполнения i – й работы в календарных днях;

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{выз}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.4)$$

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

$T_{\text{выз}}$ – количество выходных дней в году;

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

Для удобства построения линейного графика выполнения работ, длительность этапов в рабочих днях переведем в календарные дни:

$$K = \frac{P_{\text{год}}}{P_{\text{раб}}}; \quad (4.5)$$

где K – поправочный коэффициент (1,48 с учетом данных приведенных ниже);

$P_{\text{год}}$ – количество дней в году ($P_{\text{год}} = 365$);

$P_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней ($P_{\text{раб}} = 247$).

$$T_k = T_{\text{э}} \cdot K; \quad (4.6)$$

где T_k – продолжительность работы в календарных днях;

$T_{\text{э}}$ – продолжительность работы в рабочих днях;

K – поправочный коэффициент.

Таблица 6.5 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работ	Трудоемкость работ			Исполнители	T_p , раб.дн.	T_p , кал.дн.
	t_{min} , чел-дн.	t_{max} , чел-дн.	$t_{\text{ож}}$, чел-дн.			
Составление технологического задания	0,5	2	1	Научный руководитель	1	1,5
Подбор и изучение материалов	20	30	25	Студент	25	37
Выбор направления исследований	2	6	2	Научный руководитель Студент	2	3

Продолжение таблицы 6.5

Календарное планирование работ по теме	2	3	2	Научный руководитель Студент	2	3
Проведение теоретических расчетов и обоснований	6	12	8,4	Студент	8,4	13
Проведение экспериментов	22	40	28	Студент	28	41
Сопоставление результатов с теоретическим и исследованиям и	4	6	4,8	Научный руководитель Студент	1,8	3
Оценка полученных результатов	2	5	3,5	Научный руководитель Студент	2	4,5
Составление ПЗ	10	15	12	Студент	12	18
Итого						124

Таблица 6.6 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ												
			Февр		Март			Апрель			Май				
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Составление технического задания	Руководитель	1,5	█												
Подбор и изучение материалов	Студент	37	██████████												
Выбор направления исследований	Руководитель Студент	3				█	█								
Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер	3				█	█								
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	13				██████████									
Проведение экспериментов	Инженер	41						████████████████████							
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Руководитель Инженер	3											█	█	

Продолжение таблицы 6.6

Оценка полученных результатов	Руководитель Студент	4,5																	
Составление отчета по НИР	Инженер	18																	

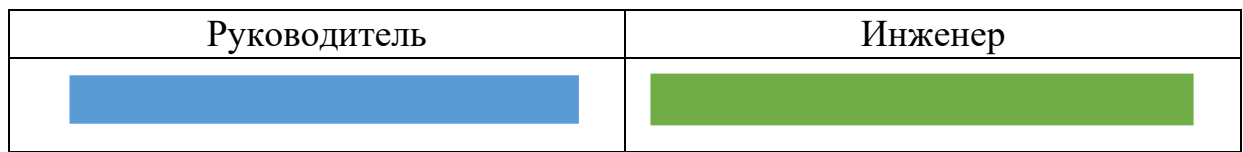


Таблица 6.7 – Сводная таблица по календарным дням.

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	124
Общее количество календарных дней, в течение которых работал студент	122
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	15

6.3 Бюджет научного исследования

В этом разделе рассматриваются все виды расходов, связанные с выполнением НИР. Расчет стоимости осуществляли по следующим статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы

6.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Показывает количество потраченных денежных средств на материалы и оборудование, используемое для исследования.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (4.7)$$

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

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ м^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 4.9.

Таблица 6.8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена на ед., руб	Затраты на материалы З _м , руб
Каолин (кусковой)	кг	5	350	1 750
Dolarix G10	кг	0,5	790	395
Медицинские перчатки	шт	5	24	120
Халат	шт	1	1500	1500
Итого:				3 765

6.3.2 Специальное оборудование для научных (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 оборудование учитываем только рабочие дни по данной теме.

Таблица 6.9 – Расчет затрат на приобретение специального оборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Срок эксплуатации, лет	Срок использования в НТИ, кал. дни	Цена единицы оборудования, руб	Амортизация, руб
1	Весы лабораторные	1	10	10	11 800	32,45
2	Вискозиметр Энглера	1	10	10	60 000	150
3	Печь камерная, лабораторная	1	10	3	70 000	58,3
4	Дробилка щековая лабораторная	1	10	1	564 290	141
Итого					706 090	381,75

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.8)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} m \quad (4.9)$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для дробилки лабораторной щековой, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$A = \frac{0,1 \cdot 564\,290}{12} 0,03 = 141 \text{ руб} \quad (4.10)$$

Далее рассчитаем аналогично амортизацию для всего оборудования.

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 381,75 \text{ руб} \quad (4.11)$$

6.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} \quad (4.12)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата $З_{осн}$ руководителя от предприятия рассчитывается:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot Т_p \quad (4.13)$$

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.

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.14)$$

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.

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ок}} \cdot k_p \quad (4.15)$$

где $Z_{\text{ок}}$ – заработная плата по оклад ставке, руб.;;
 k_p – районный коэффициент (для Томска – 1,3).

В таблице приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.11.

Таблица 6.10– Расчет основной заработной платы.

Категория	$Z_{\text{ок}},$ - руб.	$Z_{\text{м}},$ руб.	$Z_{\text{дн}},$ руб.	$T_p,$ раб.дн.	$Z_{\text{осн}},$ руб.
Руководитель	36800	47840	2080,9	15	31213,5
Студент	9489	16242	773,4	122	89474,8

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.16)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15)

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 4.12.

Таблица 6.12 – Общая заработная плата исполнителей.

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{зп}}$, руб.
Руководитель	31213,5	4682	35895,5
Студент	89474,8	13421,2	102896,0

6.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье отражаются отчисления по установленным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования. Величина отчислений определяется по формуле .

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.17)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

Установлено, что отчисления для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность имеют коэффициент отчислений 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.13.

Таблица 6.13 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Научный руководитель	31213,5	4682	10768,65
Студент	89474,8	13421,2	31074,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302		
Итого:			41843,25

6.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (4.17)$$

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 составят:

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= 0,16 \\ &\cdot (3765 + 381,75 + 31213,5 + 89474,8 + 4682 + 13421,2 \\ &+ 41843,25) = 184\,781,3 \text{ руб} \end{aligned}$$

Таблица 6.14 – Расчет бюджета затрат НТИ.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
1	Материальные затраты НТИ	3 765,0	
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	381,75	
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	31213,5	89474,8
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4682	13421,2
5	Отчисления во внебюджетные фонды	41843,25	
6	Накладные расходы	184 781,3	
Бюджет затрат НТИ		369 562,8	

Данная таблица отражает все основные затраты на проведение научно-технического исследования. Можно сделать вывод, что основным пунктом затрат НТИ являются затраты по основной заработной плате исполнителей.

6.4 Определение ресурсной эффективности проекта

Для определения эффективности необходимо сравнить текущий проект с различными его исполнениями. Исп. 2, Исп. 3 – технологии изготовления цинкфосфатных цементов. Различное исполнение идет с использованием различного сырья. Текущий проект ориентирован на двухкомпонентную цементную систему с использованием доступного сырья для производства стоматологических цементов.

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:

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.18)$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Для расчета интегрального финансового показателя разработки обозначим предположительную стоимость исследования аналогов.

$$I_{фин}^{исп1} = \frac{212431,96}{250000} = 0,85$$

$$I_{фин}^{исп2} = \frac{225000}{250000} = 0,9$$

$$I_{фин}^{исп3} = \frac{250000}{250000} = 1$$

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).

Исходя из этого можно сказать что цена разработки нашего продукта ниже предполагаемых исследований аналогов.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum(a_i \cdot b_i), \quad (4.19)$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов объекта представлена в таблице 6.15.

Таблица 6.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Объект исследования Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп. 2	Исп. 3
1. Химическая устойчивость	0,16	5	4	3
2. Показатель рН	0,14	5	4	5
3. Процент ввода	0,13	4	3	4
4. Термическая устойчивость	0,1	4	4	5
5. Безопасность	0,14	5	4	4
6 Конкурентоспособность	0,09	4	3	3
7. Цена	0,07	5	5	5
8. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	3	3	4
Итого:	1	4,71	3,98	4,41

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 4.24

$$I_{p-исп1} = (0,16 \cdot 5 + 0,14 \cdot 5 + 0,13 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,14 \cdot 5 + 0,09 \cdot 4 + 0,07 \cdot 5 + 0,02 \cdot 3) = 4,71$$

$$I_{p-исп2} = (0,16 \cdot 4 + 0,14 \cdot 4 + 0,13 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,14 \cdot 4 + 0,09 \cdot 3 + 0,07 \cdot 5 + 0,02 \cdot 3) = 3,98$$

$$I_{p-исп3} = (0,16 \cdot 3 + 0,14 \cdot 5 + 0,13 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,14 \cdot 4 + 0,09 \cdot 3 + 0,07 \cdot 5 + 0,02 \cdot 4) = 4,41$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = I_{p-исп.i} / I_i \quad (4.20)$$

Таблица 6.16 – Сравнительная эффективность разработки.

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,71	3,98	4,41
3	Интегральный показатель эффективности	5,43	4,17	4,41
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,15	1,05	1

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. В целом по показателям ресурсопотребления он является более перспективным, так как на данное исследование идут меньшие затраты бюджета при высоком качестве получаемого продукта.