

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт ИФВТ  
Направление подготовки Химическая технология  
Кафедра ТСН

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Разработка составов низкотемпературной керамики

УДК 666.6.016

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г21	Тютюнькова Дарья Олеговна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Погребенков Валерий Матвеевич	Д.Т.Н.		07.06.16

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская Марина Витальевна	К. Э. Н.		06.06.2016

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К. Т. Н.		06.06.2016

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Погребенков Валерий Матвеевич	Д.Т.Н.		07.06.16

Томск – 20\_\_ г.

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

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки (специальность) химическая технология (18.03.01)  
Уровень образования бакалавриат  
Кафедра технологии силикатов и наноматериалов  
Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:


<b>Бакалаврская работа</b> (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
--

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**


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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.06.2016	Основная часть	70
25.05.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2016	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Погребенков В.М.	д.т.н.		23.03.16

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Погребенков В.М.	д.т.н.		23.03.16

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

Институт физики высоких технологий  
 Направление подготовки (специальность) химическая технология (18.03.01)  
 Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

*В.М. Погребенков*  
 (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
4Г21	Тютюньковой Дарье Олеговне

Тема работы:

Разработка составов низкотемпературной керамики	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.03.2016 г, 2267/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	8.06.2016 г.
--	--------------


**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: Стеклокерамические композиции на основе стекла и корунда $Al_2O_3$ ; Задачи исследования: 1. Анализ литературных источников; 2. Расчет шихтового состава стекол; 3. Составление и синтез композиций из стекла и керамики; 4. Исследование характеристик композиций после обжига 5. Анализ фазового состава и микроструктуры;
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Аналитический обзор литературных источников; 2. Постановка цели и задач исследования; 3. Методы исследований; 4. Экспериментальные исследования процессов спекания стеклокерамических композиций; Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<i>Графики зависимости по результатам исследований</i>


<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.э.н. Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н. Анищенко Юлия Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	23.03.2016 г
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Погребенков В.М.	д.т.н.		23.03.16

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г21	Тютюнькова Дарья Олеговна		23.03.16

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 84 с., 18 рис., 15 табл., 40 источников.

Ключевые слова: низкотемпературная керамика совместного спекания, LTCC, легкоплавкие стекла, пленочное литье.

Объектом исследования являются синтезированные легкоплавкие стекла и композиции с корундом, составленные на их основе.

Цель работы – синтез, исследование и сравнение стеклокерамических материалов на основе 2-х различных стекольных систем.

В процессе исследования проводились эксперименты по установлению особенностей спекания композиционных материалов в зависимости от содержания стеклофазы, режимов обжига.

В результате исследования установлены зависимости характеристик спекания композиционных материалов в зависимости от содержания стеклофазы и режимов обжига.

Степень внедрения: НИОКР

Область применения: в электронике как в качестве подложки-диэлектрика, в качестве керамической матрицы.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Обзор литературы.....	4
1.1 Низкотемпературные керамические материалы.....	4
1.1.1 Классификация и роль в современной науке и технике.....	4
1.1.2 Материалы на основе искусственного сырья.....	5
1.1.3 Материалы на основе природного сырья.....	7
1.2 Низкотемпературная совместно спекаемая керамика.....	10
1.2.1 Материалы для получения керамических подложек.....	12
1.2.2 LTCC технология получения изделий.....	13
1.2.3 Роль металлических проводников в LTCC технологии.....	14
1.2.4 Физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамики...	14
1.3 Физические свойства материалов, получаемых по LTCC технологии..	16
1.3.1 Диэлектрические свойства композиционных материалов.....	16
1.3.2 Термические свойства композиционных материалов.....	18
1.3.3 Механическая прочность керамических диэлектриков.....	19
1.4 Низкотемпературная керамика в отечественной промышленности....	20
1.5 Системы для синтеза стеклокерамических материалов совместного спекания в низкотемпературном диапазоне.....	20
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	23
2.1 Объекты исследования.....	23
2.1.1 Корундовое сырье.....	23
2.1.2 Стекольные компоненты.....	24
2.2.1 Определение растекаемости и угла смачивания стекол.....	26
2.2.2 Определение усадки, водопоглощения, пористости и плотности материалов после обжига.....	28

2.2.3	Определение дисперсности материалов.....	30
2.2.4	Определение микроструктуры и фазового состава.....	31
3.	РАСЧЁТЫ И АНАЛИТИКА.....	35
3.1	Расчет шихтового состава стекол.....	35
3.2	Обоснование выбора содержания глинозема в стеклокерамических композициях.....	37
3.3	Расчет констант диэлектрической проницаемости для стеклокерамических композиций.....	38
4.	РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
4.1	Исследование растекания и угла смачивания стекол Ст1 и Ст2 на корундовых подложках.....	41
4.2	Исследование особенностей спекания стеклокерамических композиций с содержанием глинозема от 40 до 60%.....	42
4.3	Исследование термического расширения стекольных компонентов.....	45
4.4	Исследование рентгенофазового состава стекольных компонентов и стеклокерамических композиций в диапазоне температур 800-850 °С.....	46
4.5	Выводы по проведенным исследованиям.....	48
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
5.1	Планирование научно-исследовательских работ.....	51
5.1.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	51
5.1.1	Определение трудоемкости выполнения работ.....	52
5.1.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	53
5.2	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58
5.3	Расчет материальных затрат НТИ.....	58
5.4	Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ.....	59
5.5	Основная заработная плата исполнителей темы.....	60

5.6	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	62
5.7	Накладные расходы.....	63
5.8	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта...	63
5.9	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	64
6.	Социальная ответственность.....	66
6.1	Производственная безопасность.....	67
6.1.1	Анализ выявленных вредных факторов при исследовании материала...	67
6.1.2	Средства защиты.....	69
6.2	Анализ выявленных опасных факторов.....	69
6.2.1	Механические опасности.....	69
6.2.2	Термические опасности .....	71
6.2.3	Электробезопасность.....	72
6.3	Экологическая безопасность.....	73
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
6.4	Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	75
6.4.1	Особенности законодательного регулирования проектных решений...	76
	Заключение.....	77
	Список литературы.....	78



## Введение

Сегодня в различных отраслях промышленности широко применяется LTCC (low temperature co-fired ceramic) технология, которая также называется технологией низкотемпературной совместно обжигаемой керамики. Низкотемпературные материалы и технология LTCC появились как усовершенствование высокотемпературной корундовой керамики, что привело к снижению себестоимости и улучшению технологических характеристик электронных изделий на их основе:

- Высокие диэлектрические характеристики  $\epsilon=6-8$ ,  $\text{tg}\theta = 10^{-4}$ ;
- Низкое термическое расширение  $4-6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- Легкоплавкие проводники Ag, Au, Cu;
- Высокая герметичность изделий после обжига.

Ко всему прочему после обжига LTCC керамика сохраняет свою структуру даже при температурном воздействии, что дает возможность создавать устройства, работающие обширном диапазоне температур.

Основным материалом, необходимым для производства низкотемпературной керамики, являются керамический порошок, который является композиционным материалом, состоящим из стекольной и керамической составляющей. Композиционные материалы по LTCC технологии получают через последовательные операции измельчения-смешивания-формования-спекания двух и более составляющих частей.

Стеклокерамические материалы низкотемпературного спекания получили развитие и широкое распространение за рубежом (США DuPont, США Ferro, Германия Heraeus). Большую часть зарубежных материалов состоит из корундового наполнителя и легкоплавких стекол на основе системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-PbO-SiO}_2$  с высоким содержанием кремнезема [1]. Легкоплавкие стекла на основе системы  $\text{PbO-SiO}_2$  хорошо изучены и широко используются в качестве эмалей, глазурей и припоев в электровакуумной промышленности. Основным стеклообразующим оксидом в зарубежных материалах является

кремнезем  $\text{SiO}_2$ , оксид свинца  $\text{PbO}$  является вспомогательным, который понижает температуру плавления и вязкость, уменьшает склонность стекол к кристаллизации. Однако оксид свинца при температурной обработке обладает ярко выраженной летучестью, что может сказываться на конечном продукте.

Интересной альтернативой стеклообразующей системе  $\text{PbO-SiO}_2$ , используемой в зарубежных материалах LTCC, является система  $\text{B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Борный ангидрид является уникальным компонентом стекол по своей флюсующей способности, способности уменьшать склонность к кристаллизации, улучшать химические, электрические и термические свойства [2].

Целью этой работы является:

1) синтез и исследование стеклокерамических материалов на основе 2-х различных стекольных систем:

- системы  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-PbO-SiO}_2$  близкой по составу к зарубежным аналогам;

- системы  $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  содержащей 2 стеклообразующих оксида;

2) сравнение свойств стеклокерамических материалов на основе выбранных стеклообразующих систем

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ литературы по теме керамики низкотемпературного спекания и выявить предысторию развития и перспективные стекольные системы для синтеза LTCC.

2. Провести синтез основных составляющих наполнителя в LTCC технологии и выбор их содержания в композициях.

3. Провести исследование особенностей спекания и основных характеристик опытных образцов.

## **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

### **1.1 Керамические диэлектрики**

Керамические диэлектрики составляют важную часть материалов электронной техники. Они являются основой керамических установочных деталей, более 60% всех электрических конденсаторов. Развитие микроэлектроники привело к расширению объемов производства керамических диэлектриков и росту темпов их совершенствования. Данная глава посвящена керамическим диэлектрикам на основе природного и искусственного сырья, приведена их классификация, достоинства и недостатки отдельных представителей.

#### **1.1.1 Классификация и роль в современной науке и технике**

Керамические диэлектрики можно классифицировать по типу сырьевых материалов, из которых они были получены. Такие материалы можно разделить на 2 основных типа – на основе природного и искусственного сырья. В последнее время большое распространение получили диэлектрические материалы на основе искусственного сырья высокой чистоты (корунд, ультрафарфор), поскольку они обладают с высокими диэлектрическими характеристиками.

В отдельную группу выделились керамические материалы на основе природного сырья, обладающие целым комплексом отличительных свойств. Высокие диэлектрические характеристики в низком и среднем частотном диапазоне, высокая надежность и работоспособность в широком диапазоне температур при относительно невысоких температурах спекания. Классификация керамических материалов представлена на рисунке 1.



Рисунок 1.1- Классификация керамических материалов

Несмотря на все достоинства керамических диэлектриков на основе природного сырья, стоит отметить, что значительным недостатком является высокое количество примесей в его основе, которые оказывают негативное воздействие на конечный продукт, изменяя и ухудшая свойства изделия.

### 1.1.2 Материалы на основе искусственного сырья

Оксид алюминия выпускается промышленностью в виде технического глинозема и электрокорунда. Он является основным сырьем для производства *высокоглиноземистой или корундовой керамики*. Оксид алюминия имеет три основные кристаллические модификации. В природе встречается только  $\alpha$ -форма в виде минералов корунда. Но при термической обработке возможно образование  $\gamma$ -формы.  $\beta$ -форма это третья модификация, относящаяся к группе алюминатов. Технический глинозем представляет собой смесь всех трех модификаций. Получают его, как правило, из бокситов – горной породы.

В исследовательской практике для получения чистого высокодисперсного порошка оксида алюминия используют термическое разложение солей, таких как, например: нитрат и хлорид алюминия.

В связи с тем что, искусственно изготовленная техническая корундовая керамика содержит не только  $Al_2O_3$ , а в некоторых случаях – сопутствующие примеси и какие либо вредные добавки, то условно принято называть корундовой керамикой ту, которая содержит 95% и более оксида алюминия и основной кристаллической фазой является корунд.

Корундовая керамика благодаря своим ценным свойствам (высокая прочность, диэлектрическая и химическая стойкость) широко используется в самых разных областях техники. Уже на сегодняшний день возможно производство изделий из корундовой керамики с теоретической плотностью 90%. Корунд обладает мелкозернистой структурой, имеет более высокие механические свойства. На свойства электропроводности корундовой керамики оказывают влияние примеси, и специально вводимые добавки. В корундовых изделиях, изготовленных для электрической изоляции, количество примесей, должно быть минимальным. Корунд отличается ощутимо высокой химической стойкостью, как в кислых, так и в щелочных реагентах. Одним из недостатков корунда является очень высокая температура спекания. [2]

*Ультрафарфор* различных марок характеризуется большим содержанием  $Al_2O_3$  и является дальнейшим усовершенствованием радио фарфора. Ультрафарфор по составу исходной массы отличается от электротехнического фарфора тем, что природный минерал — полевой шпат заменен углекислым барием ( $BaCO_3$ ). Так же, как и полевой шпат, окись бария, образующаяся при термическом разложении бария ( $BaCO_3 = BaO + CO_2$ ), является стеклообразующим компонентом, создающим в фарфоре стекловидное аморфное вещество (стеклофазу). Введение углекислого бария (более чистого вещества по сравнению с полевым шпатом) позволило уменьшить электропроводность и диэлектрические потери в ультрафарфоре. Кроме того, в исходную массу ультрафарфора вводят 45—50% по массе чистого глинозема ( $Al_2O_3$ ) за счет резкого уменьшения количества природных глин. В остальном состав исходной ультрафарфоровой массы не отличается от исходной массы электротехнического фарфора [12].

Ультрафарфор имеет по сравнению с обычным фарфором повышенную механическую прочность и теплопроводность, а так же обладает высокой механической прочностью, высокими электроизоляционными свойствами и малыми потерями в области высоких и сверхвысоких частот

Введение искусственно синтезированной стеклофазы в корундовую керамику (в массы М7 и УФ) было предпосылками для развития композиционных стеклокерамических материалов. Процесс спекания идет по комбинированному механизму: при нагревании происходит изменение вязкости тугоплавкого стекла заполнение им пор и частичное растворение кристаллов корунда в расплаве (примерно 5%), однако поскольку содержание стеклофазы крайне мало по сравнению с содержанием  $Al_2O_3$ , то одновременно идут процессы твердофазного спекания.

### **1.1.3 Материалы на основе природного сырья**

В качестве электроизоляционного материала обширное применение получил *электротехнический фарфор*. Он является основополагающим керамическим материалом, который широко используется в производстве низковольтных и высоковольтных изоляторов и других изоляционных элементов. Свойства электротехнического фарфора определяются фазовым и химическим составом, а так же микро- и макроструктурой и технологией изготовления.

Основные составляющими фарфора являются сырьевые материалы минерального происхождения – глинистые вещества полевой шпат, (каолин) кварц, пегматит, гипс. Глинистые вещество в сыром виде имеют свойства при затворении водой становиться пластичными, что дает возможность формовать из них изделий разной формы, которая сохраняется при сушке и обжиге. Достаточная высокая температура спекания вынуждает использовать «отощающие» материалы, что приводит к снижению усадки и деформации изделий при сушке. Такими материалами могут быть кварц и битый брак из

фарфоровых изделий. Пегматит и полевой шпат служат плавнями при образовании фарфора: плавятся при более низких температурах, чем глинистые вещества или кварц. [1]

Каолин является основополагающим компонентом керамических масс для производства изделий тонкой керамики, технической, в том числе и для фарфора. Каолин, довольно часто используемый в изоляторной промышленности, представлен минералом каолинитом с примесями кварцевых зерен слюдистых минералов, а так же незначительным количеством карбонатов, единичных кристаллов гематита и окислов железа.

Формула каолинита имеет следующий вид  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Структурный мотив – пакет типа 1:1 с диоктаэдрическими слоями, при этом пустоты на две трети заполнены ионами алюминия. Каолинитовые глины в основном белые, мягкие, пластичные, плотные, огнеупорные, плохо присоединяют воду при увлажнении и легко отдают ее при сушке.[1]

Получение *стеатитовой керамики* основано на использовании природного сырья, основной источник – минерал тальк, представляющий собой водный силикат магния  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ . Минерал тальк в плотных разновидностях называют стеатитом. В качестве примесей тальк может содержать некоторое количество  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  и  $Cr_2O_3$ . Он имеет слоистую структуру. Тальк оказывает влияние на структуру керамического материала. Гидрофобные свойства чешуек талька препятствуют их ориентации в определенном направлении, в результате чего после обжига изделие обретает морщинистую поверхность. При обжиге талька удаляется химически связанная вода и перестраивается кристаллическая решетка. В процессе обжига при определенной температуре появляется жидкая фаза, цементирующая образовавшиеся кристаллы. Наличие в тальке примесей, таких, как например окислы железа, способствует образованию жидкости при более низкой температуре. Для устранения интенсивности усадки масс в процессе обжига талька предварительно обжигают при температуре 1200 -1300°C.[2]

Наличие в стекловидной фазе стеатитовой керамики оксидов щелочно-земельных металлов, особенно ВаО, приводит к снижению диэлектрических потерь в стекле и в целом в керамике. Состав стекловидной фазы стеатита оказывает существенное влияние главным образом на диэлектрические свойства.

#### *Кордиеритовая керамика*

Для промышленного изготовления кордиеритовой керамики используют природные материалы – высококачественные огнеупорные глины, тальк. Как правило, в кордиеритовой керамике содержится около 80% кордиерита и 20% клиноэнстатита, стекла и муллита. Температура обжига кордиерита 1300 - 1410°C. Этот вид керамики имеет очень короткий интервал обжига, что делает затруднительным ее производство, для расширения интервала рекомендуется вводить 2 - 4% оксидов щелочных металлов через полевои шпат. Так как в кордиеритовую керамику входит глина, придающая ей пластичность, формование изделий, возможно всеми методами технологии: пластичное формование, литье из водного шликера, прессование [3].

Во всех керамических материалах на основе природного сырья наблюдаются значительные изменения эксплуатационных характеристик электрокерамики при введении существенного количества стеклофазы. Основным достоинством является существенное (на 200°C и более), по сравнению с корундовой керамикой, понижение температур спекания материалов. Понижение температур обжига существенно экономит ресурсы (электричество, теплотраты, материалы, оборудование) на производство изделий и как следствие понижает их себестоимость. Наряду с этим подбор необходимых компонентов стеклофазы в различных типах электрокерамики позволяет улучшить ряд функциональных свойств (ВаО в составе стеатита улучшает диэлектрические свойства, полевои шпат улучшает спекание кордиерита).

Однако основой плавней, вводимых в состав электрокерамики, является природное сырье, содержащее большое количество вредных примесей (FeO,



$\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ). Использование материалов и стеклофазы большой частоты с прогнозируемыми характеристиками ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  высокой частоты и  $\text{BaO}$  как основа стеклофазы – в ультрафарфоре) позволит понизить температуры спекания без ухудшения функциональных свойств.

## **1.2 Низкотемпературная совместно спекаемая керамика**

Растущий прогресс в электротехнике вызывает непрерывно возрастающие требования к материалам, к материалам которые являются основой их конструкции. Развитие микроэлектроники привело к расширению объемов производства керамических диэлектриков и увеличению темпов их усовершенствования. В качестве диэлектриков за последние годы используется большое количество разнообразных материалов. LTCC технология - одна из наиболее перспективных для производства продуктов для СВЧ применения.

В основе LTCC технологии лежит композиционный материал из стекла и керамики, который по своему химическому составу является технологической модификацией глиноземистого фарфора (ультрафарфора). В качестве керамической основы используется искусственно синтезированный диэлектрик  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в виде глинозема высокой частоты. В качестве стеклосвязки используется заранее синтезированное стекло с определенными характеристиками, определяемыми содержанием ряда стеклообразующих оксидов.

Использование легкоплавких стекол в качестве стеклофазы для спекания по жидкофазному механизму (как электрокерамика типа ультрафарфор, стеатит, кордиерит) и исключение природных материалов с большим количеством примесей (как в корундовой керамике) позволяет добиться целого ряда уникальных свойств. Низкие потери СВЧ и относительная невысокая стоимость производства являются ключевыми преимуществами LTCC для ВЧ и СВЧ приборов. По стоимости LTCC технология приближается к технологии изготовления печатных плат на основе FR-4, а по своим диэлектрическим

характеристикам низкотемпературная керамика сопоставима с алюмооксидной керамикой.

Материалы на основе этой технологии обладают рядом положительных свойств по сравнению с другими материалами. К примеру, LTCC характеризуются низкие диэлектрические потери при высоких частотах, благодаря этому можно использовать металлы с низкими потерями, что в целом увеличивает качество готового продукта. LTCC значительно легче сочетать с другими материалами, что позволяет комбинировать и создавать различные детали на основе керамики. Это важно учитывать при проектировании устройств и выборе материалов. Что немало важно LTCC имеет механическую стабильность и сохранение линейных размеров, благодаря эластичным свойствам в широком диапазоне температур, а так же герметичность и возможность высокотемпературной пайки. Плотная структура керамики не пропускает влагу, что расширяет возможность использования таких изделий в различных средах без дополнительной защиты, что позволяет снизить затраты. Улучшение процесса технологии, методов производства за счет использования LTCC ведет к снижению себестоимости и к усовершенствованию характеристик электронных изделий.

Технология низкотемпературной совместно спекаемой керамики получила обширное применение благодаря ряду своих отличительных особенностей достоинств. Вследствие ее обширного применения растет необходимость исследования новых возможностей для производства электронных изделий в таких направлениях как телекоммуникации, медицина, автомобильная, военная и космическая техника. Основополагающие направления для развития технологий охватывает улучшение качеств материала и так же усовершенствованию и упрощению процесса производства. Помимо этого, исходные компоненты непрерывно совершенствуются, для комбинирования с другими материалами и улучшения свойств конечного продукта.

### 1.2.1 Материалы для получения керамических подложек

Для стеклокерамических наполнителей характерно использование двух основных сырьевых материалов – керамического диэлектрика (главным образом корунда  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) и стеклянного компонента (наиболее распространены боросиликатные стекла с большим содержанием кварца  $\text{SiO}_2$ ).

Керамическая составляющая низкотемпературной керамики является основой диэлектрического материала и будет формировать основу для большинства физико-химических свойств конечного изделия. Традиционными материалами в данной отрасли являются главным образом глинозем -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , благодаря доступности данного сырьевого материала и его физическим свойствам. Твердость корунда по шкале Мооса - 9, по шкале Роквелла - около 90. Плотность корунда в зависимости от наличия в нем примесей колеблется от 3,98 до 4,01 г/см<sup>3</sup>. Температура плавления  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  составляет 2050°C, температура кипения 2707±6°C. Теплота испарения корунда 484 кДж/моль, теплота образования оксида алюминия 1,7 МДж/моль. Теплоемкость корунда при 20°C - 0,93, при 800°C —1,1, при 1400°C—1,2 кДж/моль. Энергия решетки 15,4 МДж/моль.

Стекольные составляющие являются вторым звеном, образующим диэлектрические слои в LTCC технологии. Основная роль стеклокомпонентов – снижение температуры спекания конечных изделий, обеспечение минимальной пористости в материале за счет жидкостного механизма спекания, и как следствие высоких диэлектрических и механических характеристик.

При подборе стеклокомпонента необходимо руководствоваться температурами растекания максимально приближенными к температурам обжига изделий низкотемпературной керамики. Температурный коэффициент линейного расширения должен быть максимально приближен к аналогичной характеристике керамического наполнителя для обеспечения минимальной дефектности структуры спеченных изделий. [4]

## 1.2.2 ЛТСС технология получения изделий

ЛТСС технология получения материалов состоит из этапов классической керамической технологии:

1. Измельчение
2. Смешивание (стекло и корунд)
3. Формование
4. После-формовочные операции
5. Обжиг

Первым и, безусловно, наиболее сложным процессом в ЛТСС технологии является подбор сырьевых материалов и синтез стекольных составляющих. Основным методом формования в ЛТСС является шликерное литье, для которого используется множество органических материалов для смешивания с неорганическим керамическим сырьем. В основном к упомянутым органическим материалам относятся связки, пластификаторы, диспергирующие добавки и растворители.

Поскольку содержание керамического наполнителя для органических суспензий достаточно велико, то масса должна быть размолота до тонкодисперсного состояния,  $S_{уд} > 1\text{м}^2/\text{г}$ . Предпочтительным помольным агрегатом для диспергирования керамической массы являются виброэнергетические и планетарные мельницы. Для смешивания материалов и приготовления суспензии необходимы последовательные операции взвешивания и гомогенизации в шаровой мельнице.

Для приготовления формовочного полуфабриката – литьевого шликера используются различные связующие вещества. В зависимости от состава жидкой фазы различают две основные группы шликеров: водные растворы связующих и пластифицирующих веществ и неводные растворы их в органических растворителях.

Из суспензии впоследствии формируется керамическая лента. Важным технологическим этапом в технологии LTCC являются после-формовочные операции. Лента нарезается на листы необходимых размеров в соответствии с имеющимся оборудованием. Затем производится формирование переходных отверстий, заполнение переходных отверстий проводящей пастой и формирование топологии с помощью специальных проводящих и резистивных паст. Керамические листы совмещаются, ламинируются, нарезаются на отдельные элементы и обжигаются. Процесс термообработки керамики, как правило, состоит из этапа изостатического ламинирования при температурах 60-70°C под давлением, этапа выжигания органики при температурах 450-500°C в течение 2-2,5 часов, затем следует обжиг при температуре 850-900°C.

После обжига LTCC керамика сохраняет свою структуру даже при воздействии высоких температур. Это позволяет создавать устройства, работающие в широком диапазоне температур. [5]

### **1.2.3 Роль металлических проводников в LTCC технологии**

Проводники, совместимые с низкотемпературной керамикой, являются важнейшей частью LTCC систем. Металлизация может быть создана на основе золота, серебра или их совместного использования (серебряные пасты для формирования внутренних проводников, золотые для поверхности). Проводящие пасты легко наносятся методом трафаретной печати и дают возможность получать топологию с высоким разрешением. При совместном обжиге важными параметрами LTCC металлизации являются усадка и тепловое расширение материалов. Они должны быть сопоставимы с параметрами для используемой керамики. Помимо этого, пасты для металлизации должны быть химически совместимы с материалом низкотемпературной керамики. [5]

### **1.2.4 Физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамики**

Спекание с участием жидкой фазы наиболее распространенный процесс в технологии керамики, свойственным подавляющему большинству керамических изделий. Присутствие расплава в спекаемых заготовках при высоких температурах обусловлено примесями в исходном сырье, среди которых имеются легкоплавкие минералы и вещества, образующие эвтектические расплавы. В других случаях легкоплавкие минералы, например полевой шпат или искусственно полученные плавни в виде стекол, вводят в состав масс для улучшения спекания изделий и регулировки их строения и свойств.

При обжиге образующийся расплав смачивает и стягивает под действием сил поверхностного натяжения твердые частицы, входящие в состав спекаемого изделия.

Различают два варианта спекания с участием жидкой фазы: в первом случае расплав не взаимодействует с твердыми частицами, во втором растворяет твердые частицы либо вступает с ними в химическое взаимодействие.

Начальная стадия модели первого процесса изображена на рисунке 2.

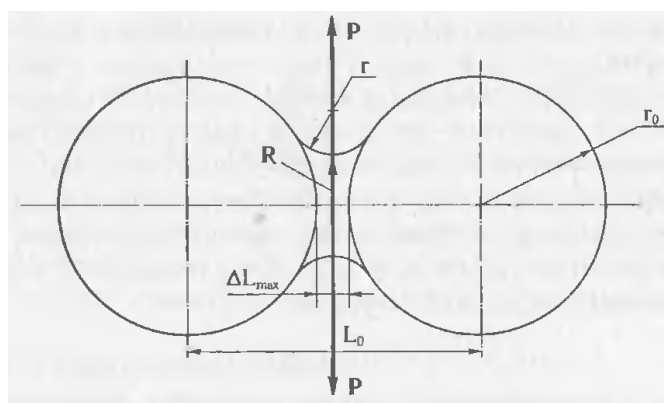


Рисунок 1.2 – схема жидкостного спекания и стягивания двух твердых сферических частиц:  $r_0$  – радиус частиц;  $L_0$  – расстояние между центрами частиц;  $\Delta L_{max}$  – максимальное сближение до соприкосновения сфер

Между двумя близко расположенными твердыми условно сферическими частицами находится прослойка смачивающей жидкости, приобретающая форму вогнутой линзы. Сила поверхностного натяжения на вогнутом мениске

линзы на границе с газовой средой обуславливает избыточное давление, направленное в сторону центра кривизны.

Давление  $P$  перемещает жидкость из зоны контакта, что влечет за собой сближение твердых частиц на некоторое расстояние ( $\Delta L$ ) и вызывает усадку материала в целом. Скорость усадки пропорциональна поверхностному натяжению  $\sigma_{жг}$ , времени  $\tau$ , обратно пропорциональна вязкости жидкости  $\eta_{ж}$  и размеру частиц  $r_0$ :

$$\Delta L/L = 3\sigma_{жг} \tau/2 \eta_{ж} r_0. \quad (2)$$

Повышение температуры снижает вязкость расплава и ускоряет спекание. Однако чрезмерное снижение вязкости недопустимо, так как способствует размягчению и деформации изделий под влиянием сил тяжести.

При достижении между частицами контакта уплотнение прекращается. Возможное уплотнение по этой схеме зависит от зернового состава твердых частиц, характера их упаковки и объемного содержания жидкой фазы при спекании.

Таким образом, по LTCC технологии удастся спечь материалы до высокой плотности. Однако при изготовлении изделий со стеклообразующими добавками необходимо учитывать количество образующегося расплава, его смачивающую способность, температуру образования расплава, скорость растворения твердой фазы, состав и строение расплава. [3]

### **1.3 Физические свойства материалов, получаемых по LTCC технологии**

Керамические диэлектрики – один из классов электротехнических материалов, т.е. материалов, обладающих определенными свойствами при их взаимодействии с электромагнитным полем и применяемых в технике с учетом этих свойств.

#### **1.3.1 Диэлектрические свойства композиционных материалов**

Весьма часто электротехнические материалы, в том числе диэлектрические, являются композиционными, т.е. представляют собой смеси двух (или большего числа) различных веществ – компонентов смеси, например, многие пластические массы (основные их компоненты – связующее и наполнитель), керамические материалы, волокнистые и иные пористые материалы.

Для расчета значения эффективной диэлектрической проницаемости композиционных диэлектриков могут применяться формулы, вывод которых основан на использовании простейших моделей. Для общего случая смеси, состоящей из произвольного числа  $m$  компонентов, возможно использовать следующую формулу:

$$\varepsilon_r = \sum_{i=1}^{i=m} y_i \varepsilon_{ri}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_r$  – эффективная диэлектрическая проницаемость смеси,  $\varepsilon_{ri}$  – диэлектрическая проницаемость компонентов смеси,  $y_i$  – объемные концентрации компонентов в смеси и  $m$  – число компонентов в смеси.

ЛТСС материалы состоят из двух основных компонентов: корунда (диэлектрика с  $\varepsilon=11$ ) и синтезированного стекла. Силикатные стекла при температуре ниже  $T_g$  принадлежат к классу диэлектриков. Диэлектрические свойства материалов характеризуются диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ , диэлектрическими потерями, электрической плотностью и пр.

*Диэлектрическая проницаемость* стекол зависит от их состава, изменяясь от 3,81 (для кварцевого стекла) до 16,2 (стекла с высоким содержанием оксидов тяжелых металлов – до 80%). Введение модификаторов, особенно оксидов щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов, способствует образованию ионов немостикового кислорода, которые легко поляризуются в электрическом поле. Низкие значения  $\varepsilon$  обуславливают высокие электроизоляционные свойства стекол.

*Диэлектрические потери* характеризуют долю энергии электрического поля, превратившуюся в тепловую в объеме диэлектрика вследствие



возникновения токов проводимости, установления различных видов поляризации и др. Диэлектрические потери зависят от диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, частоты поля и приложенного напряжения. Величины  $\operatorname{tg}\delta$  и  $K_\delta$  определяют возможность использования диэлектрика в низкочастотной и высокочастотной аппаратуре.

В ряду силикатных стекол наиболее низкие диэлектрические потери характерны для кварцевого стекла:  $\operatorname{tg}\delta$  при  $20^\circ\text{C}$  и 1 МГц равен  $10^{-4}$ . Диапазон измерения диэлектрических потерь широк: натриевосиликатное стекло состава 16 мол. %  $\text{Na}_2\text{O}$  и 84 мол. %  $\text{SiO}_2$  при частоте 1 КГц имеет  $\operatorname{tg}\delta=0,1000$ , т.е. на четыре порядка больше, чем кварцевое стекло.

Если в композиционном материале использовать стекла с высоким содержанием кремнезема (высокие диэлектрические характеристики в ряду стекол) и корундового сырья высокой чистоты, то диэлектрические характеристики конечного композита будут достаточно высоки.

### **1.3.2 Термические свойства композиционных материалов**

Тепловое расширение тел связано с увеличением амплитуды тепловых колебаний атомов относительно их среднего положения при увеличении температуры.

Следует отметить асимметричность колебаний атомов. Иначе при любой температуре средние межатомные расстояния были бы одинаковы и расширения твердых тел не наблюдалось бы.

Расширение тел при изменении температуры оценивают термическим коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) для заданной температуры:

$$\alpha = dl/dT, \quad (7)$$

или термическим коэффициентом объемного расширения (ТКОР):

$$\beta = dV/VdT. \quad (8)$$

У монокристаллов ТКЛР анизотропны и зависят от симметрии кристалла. Только у аморфных и поликристаллических материалах, а также

кристаллов с кубической сингонией наблюдается линейное расширение независимо от направления. У кристаллов более низкой симметрии существует два или даже три разных значения ТКЛР вдоль разных осей –  $\alpha_a$ ,  $\alpha_b$ ,  $\alpha_c$ . Различие этих коэффициентов таково, что оно всегда обеспечивает превращение кристалла при повышении температуры в более симметричный. [10]

Величина ТКЛР зависит от строения решетки кристалла и прочности химических связей. Особенно важно согласование величин ТКЛР стеклофазы и керамического наполнителя в ЛТСС, поскольку при различающихся значениях теплового расширения в теле керамики возможно возникновение напряжений, которые могут вызвать образование микротрещин и будут влиять на многие свойства конечных изделий.

Величину ТКЛР измеряют с помощью дилатометров, как правило, кварцевых или корундовых, иногда при высоких температурах используют бромеллитовые дилатометры, что обеспечивает большую точность измерений. Для получения еще более высокой точности измерения ТКЛР используют оптические интерференционные методы.

### **1.3.3 Механическая прочность керамических диэлектриков**

Керамика относится к материалам характеризующимся хрупким разрушением под действием механических напряжений, т.е. пределы упругости и пластичности керамики практически совпадают.

Причина низких значений механической прочности реальных твердых тел и большого разброса значений механической прочности заключается в определяющем влиянии на эту характеристику дефектов структуры, которые имеются в образце. В частности, наибольшее влияние на разрушение твёрдых тел, согласно теории А. Гриффитса, оказывают микротрещины, находящиеся как на наружной поверхности, так и внутри образцов. На краях трещин упругое

напряжение резко возрастает – трещины являются концентраторами напряжений. [3]

Корунд в составе низкотемпературной керамики обладает большей плотностью (3900-4000 кг/м<sup>3</sup>) и прочностью, чем стекло (2300-2800 кг/м<sup>3</sup>). Однако в композиционном материале механическая прочность будет складываться аддитивно из прочности и содержания фаз материалов, входящих в его состав.

#### **1.4 Низкотемпературная керамика в отечественной промышленности**

Изначально технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики использовалась для производства сверх высокочастотных устройств. Из-за своих диэлектрических и механических свойств низкотемпературная керамика нашла более обширное применение, как например, производства различных сенсоров, механических систем и трехмерных интегрированных структур.

Микросхемы с корпусами на основе LTCC керамики нашло применение в бытовой электронике, телекоммуникациях, спутниковых системах, автомобильной промышленности, а так же в военной индустрии.

К большому сожалению, на сегодняшний день материал LTCC в России не производится, а закупается для сборки изделий. Большая часть предприятий,

работающих с низкотемпературными материалами по LTCC технологии, работает на зарубежном сырье полуфабрикаты – «сырой» ленте.

### **1.5 Системы для синтеза стеклокерамических материалов совместного спекания в низкотемпературном диапазоне**

Тройная система, представляющая интерес для стекол в LTCC - CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. Диаграмма состояния представлена на рисунке. На диаграмме имеется два тройных соединения: CaO·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, которое соответствует природному материалу данбуриту, и 5CaO· B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>. На данной тройной диаграмме имеются легкоплавкие эвтектики, подходящие для LTCC. Например т. 12 CaO·SiO<sub>2</sub>+CaO·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiO<sub>2</sub>+ жидкость с T<sub>плав</sub>=977°C; т. 11 CaO·SiO<sub>2</sub>+2CaO·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+2CaO·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ жидкость с T<sub>плав</sub>=1017°C.

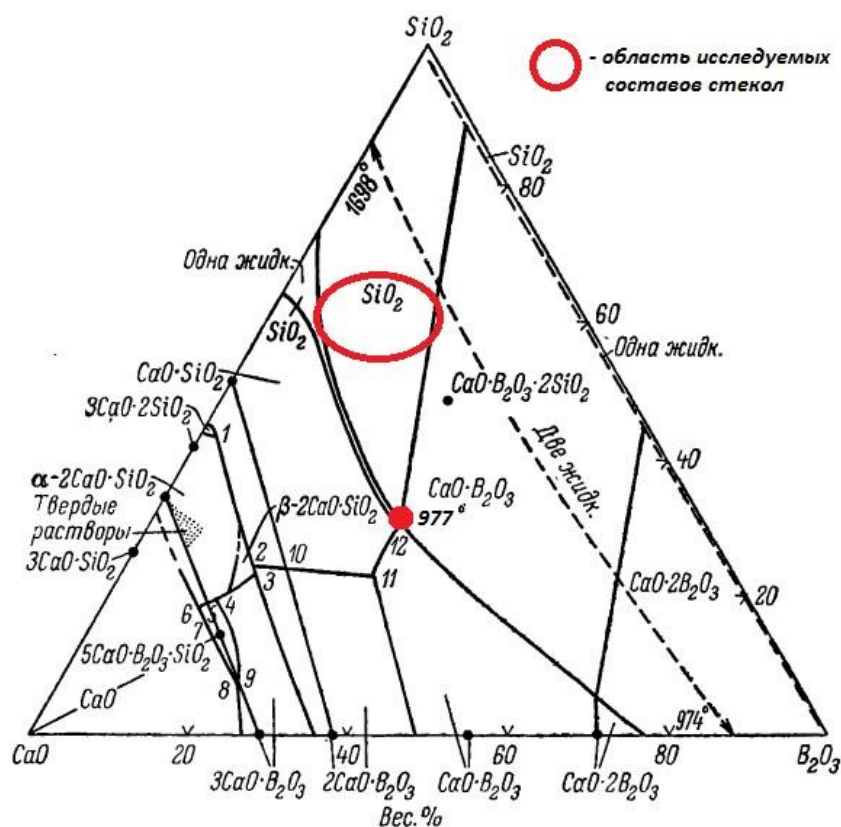


Диаграмма состояния системы  $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$   
(по Флинту и Уэллсу).

Рисунок 1.3 – Диаграмма состояния  $\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Область легкоплавких стеклообразующих систем, используемых в LTCC материалах, обозначена красным полем на рисунке Н. Данная область характеризуется высоким содержанием кремнезема (более 50%), но при этом достаточным количеством легкоплавкого компонента  $\text{B}_2\text{O}_3$ . [6]

В зарубежных исследованиях и в промышленных образцах LTCC материалов, присутствующих на рынке, ангидрид бора частично заменен вспомогательным оксидом свинца. При этом стеклообразующая система является достаточно легкоплавкой в диапазоне  $850-900^\circ\text{C}$ . Основным стеклообразующим оксидом в зарубежных материалах является кремнезем  $\text{SiO}_2$ , оксид свинца  $\text{PbO}$  является вспомогательным, который понижает температуру плавления и вязкость, уменьшает склонность стекол к кристаллизации. Однако оксид свинца при температурной обработке обладает ярко выраженной летучестью, что может сказываться на конечном продукте.

Борный ангидрид является уникальным компонентом стекол по своей флюсующей способности, способности уменьшать склонность к кристаллизации, улучшать химические, электрические и термические свойства.

## **2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В данной главе рассмотрены основные используемые материалы и методы исследования с описанием использованной аппаратуры.

### **2.1 Объекты исследования**

Для получения низкотемпературной керамики были использованы порошки оксида алюминия производства компании Nabalox и стеклокомпоненты, изготовленные в процессе выполнения научной работы. Выбор данного сырья основан на изучении литературных источников. Ниже представлена краткая характеристика использованных компонентов.

#### **2.1.1 Корундовое сырье**

Данная марка глинозема была выбрана из-за высокой степени чистоты (99.8%) и высокого содержания  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (98%). Оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет твердость по Моосу 9 и уступает только алмазу и некоторым карбидам. Зерна технического глинозема имеют своеобразную структуру. Это не монолитные беспористые кристаллы, а своеобразные скопления мельчайших кристалликов  $\alpha$ - и  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  размером менее 0,1 мкм, образующие шарообразную форму, так называемую сферолитную структуру. Такая пористая структура сферолитов (истинная пористость около 50%) оказывает влияние на технологию производства изделий, в первую очередь на помол и спекание. Электрические характеристики становятся выше с увеличением дисперсности порошка, но зависит от количества  $\alpha$ -фазы, стеклофазы и примесей. Ценность  $\text{Al}_2\text{O}_3$  заключается в сочетании высокой механической прочности, вакуумных свойств с диэлектрическими характеристиками при высоких частотах и температурах.

Таблица 2.1 - Характеристики технического глинозема марки NO 105 RA производства Nabalox

Свойства	Мера измерения	NO 105 RA
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%, не более	99,8
SiO <sub>2</sub>	%, не более	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%, не более	0,03
Na <sub>2</sub> O	%, не более	0,1
α- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%, не более	98
Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	3,9
Насыпная плотность	кг/см <sup>3</sup>	950
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /г, (БЭТ)	0,7

### 2.1.2 Стекольные компоненты

Стекольные составляющие являются вторым звеном, образующим диэлектрические слои в ЛТСС технологии. Основная роль стеклокомпонентов – снижение температуры спекания конечных изделий, обеспечение минимальной пористости в материале за счет жидкостного механизма спекания, и как следствие высоких диэлектрических и механических характеристик. Подбирается стеклокомпонент по различным параметрам – температура растекания, которая должна быть приближена к температурам обжига изделий такой керамики; температурный коэффициент линейного расширения также должен максимально приближаться к ТКЛР керамического наполнителя для получения минимальной дефектности структуры готовых изделий.

Для улучшения свойств стекла добавляется множество компонентов. Одни из этих компонентов – это оксиды щелочных металлов. Они играют роль плавней – снижают температуру варки стекла, понижают вязкость. Так же они увеличивают диэлектрическую проницаемость, что может негативно сказаться на конечном продукте, если речь идет об изоляторах, уменьшается микротвердость, повышается плотность и ТКЛР. Однако негативные воздействия можно значительно уменьшить, если в стекле будет одновременно содержаться два или три иона щелочных металлов. Это называется эффект нейтрализации. Его суть заключается в следующем: многие свойства стекла зависят от размеров ионов; чем он больше, тем меньше относительное влияние



иона на свойства, но при сочетании нескольких оксидов щелочных металлов происходит торможение действия одного иона на другой.

Оксид алюминия один из компонентов, добавляемый при варке стекла. В данном случае он выступает в роли стабилизатора стеклообразного состояния. Так же он повышает температуру плавления, ухудшая провариваемость и гомогенизацию стекломассы. Улучшает механические свойства, увеличивает химическую стойкость, уменьшает тепловое расширение. Так как в данном случае оксид алюминия используется для стабилизации, то его будет достаточно в количестве не более 3%. [4]

Оксид магния вводится в стекло обычно в небольшом количестве, и также выступает в роли плавня. Понижает склонность к кристаллизации, повышает поверхностное натяжение. Повышает коэффициент линейного расширения, снижает устойчивость стекла к действию воды. [4]

Оксид кальция понижает температуру плавления и вязкость, улучшает механические и химические свойства, повышает плотность и тепловое расширение. [4]

Оксид бора понижает температуру плавления и вязкость, уменьшает тепловое расширение, поверхностное натяжение, увеличивает термостойкость, химическую стойкость, улучшает механические свойства. Алюминий и бор при совместном присутствии в стекле в условиях избытка оксидов щелочных и щелочноземельных металлов способны образовывать единый алюмоборокремнекислородный каркас – этот эффект называется Алюмоборный эффект. Однако при недостатке указанных оксидов переходит в четверную координацию в начале алюминий, а затем бор за счет остатков неизрасходованного кислорода. [4]

Кремнезем главная составная часть всех силикатных стекол. Влияние на свойства - повышает вязкость стекломассы и способствует повышению скорости машинного вытягивания, улучшает механические и химические характеристики, повышает тугоплавкость стекла и затрудняет его гомогенизацию, уменьшает ТКЛР и плотность, повышает термостойкость, не

изменяет диэлектрическую проницаемость, увеличивает склонность к кристаллизации.[4]

## 2.2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.2.1 Определение растекаемости и угла смачивания стекол

Способность стекломассы смачивать твердые тела зависит от соотношения поверхностного натяжения  $\sigma$  на трех пограничных плоскостях раздела: расплав – воздух –  $\sigma_{ж-г}$ ; твердое тело – расплав –  $\sigma_{т-ж}$ ; твердое тело – воздух –  $\sigma_{т-г}$ .

Эти виды поверхностного натяжения связаны следующим соотношением:

$$\sigma_{т-г} = \sigma_{ж-г} \cos\theta + \sigma_{т-ж}, \quad (11)$$

где  $\theta$  – угол смачивания (рисунок 2.1).

Величина смачивания зависит от  $\cos\theta$ : чем больше значение  $\cos\theta$ , тем выше смачивающая способность данного вещества. Угол смачивания равный нулю (т.е.  $\cos\theta=1$ ), свидетельствует о полной смачиваемости. Тупой угол свидетельствует об ограниченной смачиваемости, и  $\cos\theta$  при этом имеет отрицательное значение. Наконец, когда угол  $\cos\theta$  достигает  $180^\circ$ , т.е. когда  $\cos\theta=-1$ , явление смачивания полностью отсутствует.

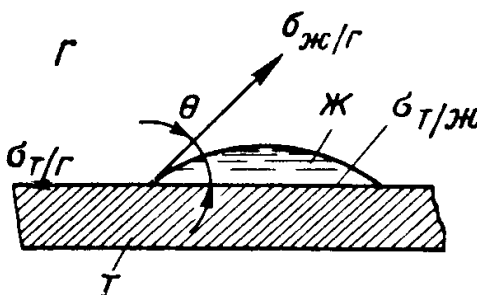


Рисунок 2.1 – Краевой угол смачивания

Таким образом, угол смачивания определяется степень растекаемости расплава по керамической или иной пластинке. Наиболее распространенный

метод определения угла смачивания сводится к просмотру охлажденной вместе с керамической пластинкой капли стекломассы на проекционном приборе. При изучении явлений смачивания при заданной температуре на предметный столик проекционного прибора устанавливают трубчатую электропечь, в центр которой помещают образец цилиндрической или конусообразной формы. Смачиваемость поверхностей твердых тел различной природы в значительной мере зависит от физико-химических свойств самой смачиваемой поверхности и от химического состава стекломассы.

Для определения угла смачивания из каждого состава сваренного стекла отбирают кусочку в количестве 30-40 г. Небольшое количество газообразных включений в стекле не влияет на результаты определений. Из отобранных кусочков стекла готовят порошок в агатовой или кварцевой ступке и просеивают его через сито № 0105. Для лучшего формования цилиндров к стекольному порошку добавляют 5-7% воды, в которую добавляют небольшое количество декстрина. Штабики цилиндрической формы диаметром и высотой 1 см формуют на ручном гидравлическом прессе или каком-либо другом прессе. Отформованные цилиндрики слегка подсушивают в сушильном шкафу, а затем помещают на подставки, изготовленные из материала, для которого определяют смачиваемость стекломассой (керамика, металл и т.д.).

Пластинку с образцами стекла располагают в муфельной печи в строго горизонтальном положении и выдерживают в течении 1 ч. при заданной температуре. Если стекло обладает значительной склонностью к кристаллизации, то время выдержки можно сократить до 30 мин. После окончания опыта образцы стекол извлекают из мочи и охлаждают

Краевой угол смачивания измеряют при помощи проекционного оптического прибора. [4]

### **2.2.2 Определение усадки, водопоглощения, пористости и плотности материалов после обжига**

Измерение усадки после обжига проводилось на образцах в виде таблетки. Усадка определяется по длине образца после обжига и длине формы, принимаемой за длину образца до обжига, расчет производится по формуле:

$$U = \frac{l_{\phi} - l_0}{l_{\phi}} \times 100\%, \quad (12)$$

где  $l_{\phi}$  – длина формы;  $l_0$  – длина образца после обжига.

Для определения кажущейся плотности необходимо измерить массу и объем тела, а так же объем всех имеющихся пор.

Измерения объема пор в материале проводилось методом гидростатического взвешивания образца, предварительно насыщенного жидкостью. Используемая жидкость должна обладать хорошей смачиваемостью и не взаимодействовать с испытуемым образцом. В качестве такой жидкости обычно используют воду.

Образцы предварительно взвешиваются на технических весах с точностью до 0,00001 г. Для насыщения пор водой используют, как правило кипячение или вакуумирование. Для насыщения вакуумированием сухие взвешенные образцы помещают в вакуумную ячейку (рисунок 2.2), присоединенную к вакуум-насосу.

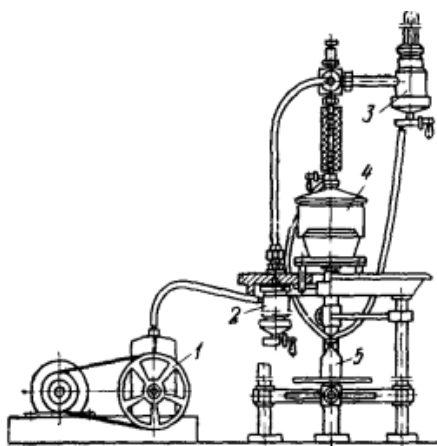


Рисунок 2.2 - Устройство для насыщения пор образцов жидкостью:

1- масляный вакуум-насос; 2-сосуд-ловушка; 3-вакууметр; 4-вакуумная ячейка для образцов; 5-сосуд для воды и керосина.

После откачки воздуха (остаточное давление 15-20 мм рт. ст.) ячейку соединяют с сосудом, содержащим воду. Под действием разряжения жидкость поступает в сосуд, насыщая поры образцов. Когда образцы покроются слоем жидкости, ее прекращают подавать, отключают вакуум-насос и ячейку соединяют с атмосферой.

Образцы, насыщенные жидкостью взвешивают погруженным состоянием и на воздухе на гидростатических весах.

Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии, взвешивают на гидростатических весах (рисунок 2.3).

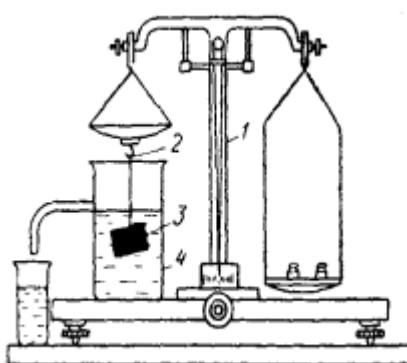


Рисунок 2.3 - Гидростатические весы для определения водопоглощения, кажущейся плотности и открытой пористости.

1-весы; 2-подвеска; 3-испытуемый образец; 4-емкость с водой.

При взвешивании в погруженном состоянии образец помещают на легкую сетчатую подставку или подвешивают проволоочной петлей. Перед взвешиванием образца уравнивают чашки с подвесным устройством. Для взвешивания на воздухе образца, насыщенного жидкостью, предварительно влажным отжатым полотенцем удаляют с его поверхности избыток жидкости. После каждых 10-15 таких операций ткань повторно отжимают.

Величину водопоглощения и открытой пористости подсчитывают с точностью до 0,1%, величину кажущейся плотности – с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>. Водопоглощение  $B$ , открытую пористость  $\Pi_0$  и кажущуюся плотность  $\rho$  подсчитывают по следующим формулам:

$$B = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\%, \quad (13),$$

$$P_0 = \frac{m_1 - m}{m_1 - m_2} \times 100\% \quad (14),$$

$$\rho_{\text{каж}} = \frac{m \times Y_f}{m_1 - m_2} \quad (15),$$

где  $m$  – масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании, соответственно, на воздухе и в жидкости, г;  $Y_f$  – плотность использованной жидкости, г/см<sup>3</sup> [21].

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{\rho_{\text{каж}} * 100\%}{\rho_{\text{ист}}} \quad (16),$$

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{M_{\text{нав}}}{\frac{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3}} + \frac{M_{\text{ст}}}{\rho_{\text{ст}}}} \quad (17),$$

$$P_{\text{общ}} = 100 - \rho_{\text{отн}}. \quad (18).$$

### 2.2.3 Определение истинной плотности пикнометрическим методом

Сущность метода заключается в измерении объема жидкости, вытесненной пробой испытуемого материала из сосуда с известной емкостью. Для определения плотности используют пикнометры объемом 25 мл, в качестве жидкой среды используют воду.

Величину истинной плотности с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup> подсчитывают по формуле:

$$\gamma = \frac{m \gamma_{\text{ж}}}{m - (m_1 - m_2)} \quad (19)$$

где  $m$  – масса навески используемого материала, г;  $m_1$  и  $m_2$  – масса пикнометра с пробой и жидкостью,  $\gamma_{\text{ж}}$  – плотность использованной жидкости при 20°C, г/см<sup>3</sup>. [7]

### 2.2.4 Определение удельной поверхности материалов

Для определения дисперсности материала необходимо знать удельную поверхность материала. Один из методов определения этой величины – определение по воздухопроницаемости слоя материала.

Этот метод основан на измерении сопротивления, оказываемого воздуху, просасываемому через слой материала установленной толщины и площади поперечного сечения, уплотненного до определенного содержания пустот в единице объема. Данным методом определяется внешняя удельная поверхность. Определение проводится с помощью прибора Л.С. Соминского и Г.С. Ходакова (ПСХ-2).

Материал для испытания должен быть высушен, взвешен на технических весах с точностью до 0,01г. Проба порошка зависит от плотности материала и определяется по формуле:

$$g = 3,33 * \rho \quad (20)$$

Площадь удельной поверхности порошка вычисляют по формуле:

$$S = K \cdot \frac{M\sqrt{\tau}}{g}, \quad (21)$$

где К – постоянная прибора;  $\tau$  – время падения столба жидкости между данной парой рисок, с; М – коэффициент, зависящий от толщины слоя порошка L и температуры воздуха t во время опыта.

Средний размер зерен материала определяется из соотношения:

$$D = 60000/(\rho \cdot S) \quad (22). \quad [8]$$

## **2.2.5 Определение микроструктуры и фазового состава**

### *Рентгенофазовый анализ*

Основной задачей рентгенофазового анализа является идентификация различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, даваемой исследуемым образцом. Широкое распространение из-за простоты и универсальности получил метод порошка. Постепенное усовершенствование методики рентгенофазового анализа, улучшение конструкций рентгеновских камер и рентгеновских установок, широкое распространение легкозаменяемых

электронных трубок привело к повсеместному внедрению рентгенофазового анализа в практику работы химических и технических лабораторий.

Условие дифракции рентгеновских лучей (Вульфа - Брэггов) будет иметь вид:

$$2d \cdot \sin\theta = n\lambda, \quad (23)$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние,  $n$  - порядок отражения ( $n = 1, 2, 3$ ),  $\theta$  и  $\lambda$  – данные эксперимента. Это уравнение лежит в основе всех рентгеновских методов исследования кристаллических тел. Его используют для расчета межплоскостных расстояний  $d$ , которые собственно являются характеристикой конкретной кристаллической решетки. Выполнение условия Вульфа - Брэггов при изменении угла падения рентгеновского излучения регистрируется на рентгенограмме возникновением максимума или почернением на фотопленке. Интенсивность этого максимума или почернения соответствует интенсивности отраженного луча, которое в свою очередь зависит от количества атомов, составляющих данное семейство плоскостей, то есть от "заселенности" атомной плоскости. Поэтому интенсивность отраженного луча также является характеристикой изучаемого объекта.

Рентгеновские камеры и дифрактометры различаются способом регистрации дифракционной картины. В камерах эта картина фиксируется на фотографическую пленку, в дифрактометрах – с помощью различного типа счетчиков (сцинтилляционных, пропорциональных, полупроводниковых). Широкое применение способов регистрации рентгеновских лучей (счетчики) и усовершенствование фотографического метода (фокусирующие камеры – монохроматоры) расширило границы чувствительности фазового анализа и увеличило надежность идентификации фаз в самых сложных случаях. Принципиальная схема рентгеновского дифрактометра изображена на рисунке 2.4



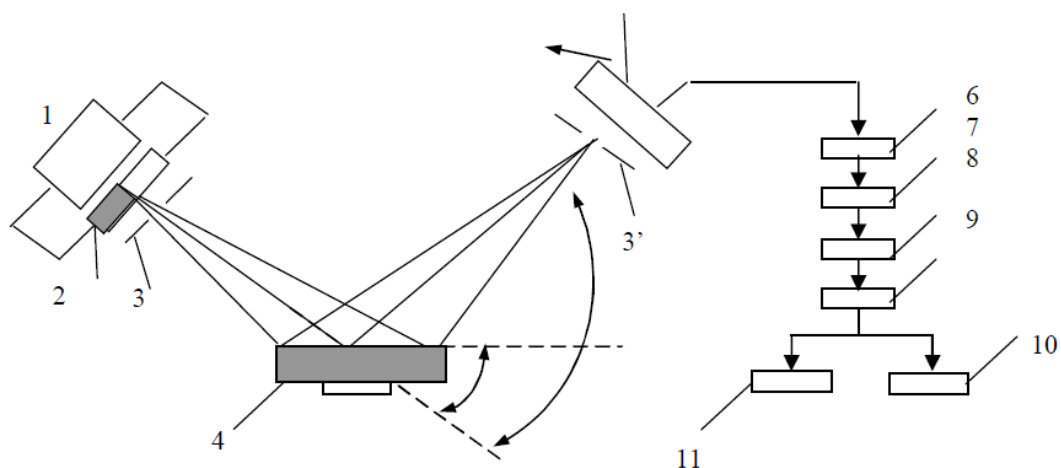


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема работы дифрактометра

- |                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1 - источник высокого напряжения; | 7 – усилитель;               |
| 2 - рентгеновская трубка;         | 8 – дискриминатор;           |
| 3,3` - диафрагмы;                 | 9 – пересчетная схема;       |
| 4 – образец;                      | 10 – самопишущее устройство; |
| 5 - счетчик квантов;              | 11 – интенсиметр.            |
| 6 - фотоэлектронный умножитель;   |                              |

К достоинствам рентгеновского фазового анализа должны быть отнесены: высокая достоверность и экспрессность метода; то, что метод – прямой, так как в принципе основан не на косвенном сравнении с какими-либо эталонами или изменениями свойств, а непосредственно указывает на кристаллическую структуру вещества, наилучшую характеристику каждой фазы, наконец, этот метод не требует большого количества вещества; анализ можно проводить без нарушения образца или детали; кроме того, метод допускает оценку количества фаз в смеси. [8]

### *Растровая электронная микроскопия*

Наличие и размер пор, поверхность, наличие примесей в спеченных образцах было изучено при помощи растрового электронного микроскопа JEOL JSM-7500FA.

Принцип действия растрового электронного микроскопа (РЭМ) основан на том, что на анализируемый образец направляется электронный пучок, при

взаимодействии между пучком и образцом генерируются ответные сигналы различной физической природы, которые собираются детектором и используются для синхронного построения изображения на экране. Приведем схему основных узлов РЭМ на рисунке 2.5.

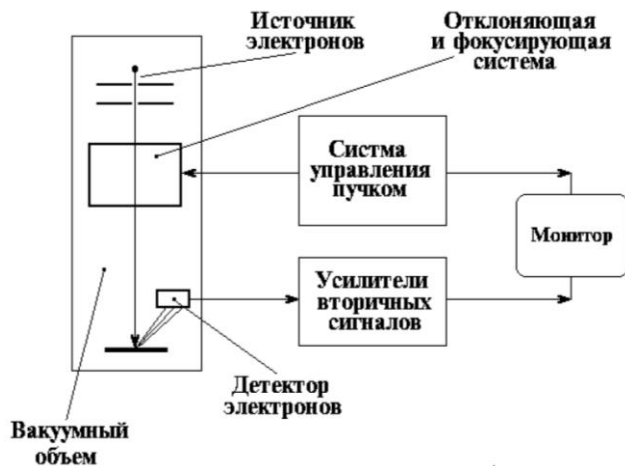


Рисунок 2.5 - Схема работы РЭМ [9]

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г21	Тютюньковой Дарье Олеговне

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТСН</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	240100 – Химическая технология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет стоимости исходного сырья, материалов, спецоборудования, комплектующих изделий и покупных полуфабрикатов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчетные величины материалов, сырья и оборудования научно-технического проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Премияльный коэффициент, районный коэффициент, коэффициент доплат и надбавок, заработная плата по тарифной ставке.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**


1. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование структуры работ, их трудоемкость, разработка графика проведения исследования, расчет бюджета исследования: затраты на сырье, оборудование, заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя эффективности: определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности; сравнение эффективности разработки с аналогами

**Перечень графического материала:**


1. График проведения и бюджет НИ
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Верховская Марина Витальевна	к. э. н.		23.03.2016 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г21	Тютюнькова Дарья Олеговна		23.03.2016 г.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

### **5.1 Планирование научно-исследовательских работ**

#### **5.1.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в последующем порядке:

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

Для выполнения научных исследовательских работ формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты. По каждому виду работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Порядок работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр,
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Теоретические и эксперименталь	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр

Основные этапы	№раб	Содержание работ	Должность исполнителя
ные исследования	6	Проведение экспериментов	Бакалавр
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, бакалавр
<b>Проведение ВКР</b>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка технологии получения керамзита.	Бакалавр
Изготовление и испытание опытного образца	11	Получение опытных образцов	Бакалавр, руководитель
	12	Лабораторные испытания опытных образцов	Бакалавр, руководитель
Оформление комплекта документации по ВКР	13	Составление пояснительной записки	Бакалавр

### 5.1.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение ожидаемой (средней) трудоемкости выполнения:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – наиболее возможное время на протяжении, которого должна быть выполнена работа, чел-дни;  $t_{\min i}$  – минимальное время для выполнения

данного этапа при благоприятном стечении обстоятельств, чел-дни;  $t_{\max i}$  – наибольшее время для выполнения данного этапа при неблагоприятном стечении событий, чел-дни.

Исходя из ожидаемой трудоемкости, рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – длительность одной работы, раб. дней;  $t_{ожi}$  – прогнозируемая трудоемкость исполнения одной работы, чел-дни;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.1.2 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

В 2016 году 366 календарных дней, из них 105 выходных для и 14 праздничных дней. Тогда коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 105 - 14} = 1,48.$$

Таблица 3.2 – временные показатели научного исследования (обозначения Р – руководитель, С - студент)

Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	$T_p$ , раб. дн.		$T_k$ , кал. дн.	
	$t_{min}$ , чел-дн		$t_{max}$ , чел-дн		$t_{ож}$ , чел-дн						
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление технического задания	0,3	0,3	1	1	0,6	0,6	Р	0,1	0,1	0,1	0,1
	0,3	0,3	1	1	0,5	0,5	С	0,1	0,1	0,1	0,1
Выбор направления исследований	0,6	0,6	2	2	1	1	Р	0,5	0,5	0,6	0,6
	0,6	0,6	2	2	1	1	С	0,5	0,5	0,6	0,6
Подбор и изучение материалов	5	5	10	10	7	7	Р	3,5	3,5	4,2	4,2
	5	5	10	10	7	7	С	3,5	3,5	4,2	4,2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,8	0,8
	1	1	2	2	1,4	1,4	Р	0,7	0,7	0,8	0,8
Проведение теоретических расчетов и обоснований	3	3	5	5	3,8	3,8	С	1,9	1,9	2,3	2,3
Название работ	Трудоемкость работ						Исполнители	$T_p$ , раб. дн.		$T_k$ , кал. дн.	
	$t_{min}$ , чел-дн		$t_{max}$ , чел-дн		$t_{ож}$ , чел-дн						
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Проведение экспериментов	3	3	5	5	3,8	3,8	С	1,9	1,9	2,3	2,3

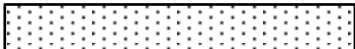
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	2	3	3	2,5	2,5	P	1,2	1,2	1,4	1,4
	3	3	5	5	3,8	3,8	C	1,9	1,9	2,3	2,3
Оценка полученных результатов	3	3	4	4	3,5	3,5	P	1,7	1,7	2	2
	5	5	6	6	5,5	5,5	C	2,7	2,7	3,1	3,1
Приготовление опытных образцов	3	3	4	4	3,5	3,5	P	1,7	1,7	2	2
	14	14	28	28	19,6	19,6	C	9,8	9,8	12	12
Испытание опытных образцов	3	3	4	4	3,5	3,5	P	1,7	1,7	2	2
	5	5	7	7	5,8	5,8	C	2,9	2,9	3,5	3,5
Составление пояснительной записки	13	13	16	16	14,2	14,2	C	14	14	17	17

На основании полученных данных был построен ленточный график в виде диаграммы Ганта (таблица 3.3).





Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , дней	Продолжительность выполнения работ												
			Февраль		Март			Апрель			Май				
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Оценка полученных результатов	Руководитель, студент	2 3,2													
Приготовление опытных образцов	Руководитель, студент	2 12													
Испытание опытных образцов	Руководитель, студент	2 3,5													
Составление пояснительной записки	Студент	17													

Руководитель 

Студент 

## 5.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 5.3 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m (C_i N_{\text{расх } i}),$$

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

$N_{\text{расх } i}$  – число материальных ресурсов  $i$ -го вида, намечаемых к использованию при выполнении научного исследования;

$C_i$  – стоимость приобретения единицы вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные затраты расходы принимаются в пределах 15-25% от цены стоимости материалов. Результаты расчета затрат на сырье в ходе проведения НИР представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Затраты на сырье на проведение исследований

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Оксид алюминия	Nabalox	25кг	250	6250
Борная кислота	порошок	1кг	450	450
Кальций углекислый	ЧДА	1кг	29	29
Барий углекислый	ЧДА	1кг	135	135
Жильный кварц	ОВС-025-1	1кг	20	20
Алюминий гидрат окиси	ЧДА	1кг	130	130
Калий углекислый	ЧДА	1кг	100	100
Натрий углекислый	ЧДА	1кг	127	127
Этанол	Экстра	10л	140	1400
Дибутилфталат	Высший сорт	1л	80	80
Касторовое масло	медицинское	1л	1200	1200
Пресс-форма	металлическая	1 шт	1500	1500
Всего за материалы				11421

Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)	601
Итого по статье $C_m$	12562

#### 5.4 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

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

$$A = \frac{C_n \cdot H_a \cdot n}{100k}$$

где  $C_n$  – первоначальная стоимость оборудования;

$H_a$  – норма амортизации, %;

$n$  – количество проработанных месяцев;

$k$  – число месяцев в году.

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

Таблица 3.5 – Расчет амортизации оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Пресс гидравлический	1	18900	18900
2.	Печь высокотемпературная лабораторная	1	199000	199000
3.	Весы аналитические (Sartorius)	1	710000	710000
4.	Вакуум пост	1	180000	180000
6.	Оптический микроскоп лабораторный (Windows)	1	1500	1500
	ИТОГО			406500
	Доставка и монтаж (15%)			60975

Итого по статье	467475
-----------------	--------

Издержки на электричество предусматриваются учитываются только на технологические цели, так как затраты на освещение и другие цели соединены с общеустановленными расходами.

Все оборудование имеется в наличии. Примем, что срок службы каждого оборудования составляет 15 лет (технологический износ, неточность испытаний через данный промежуток времени). Таким образом, годовая норма амортизационных отчислений составит 6,67%. Годовая сумма амортизационных отчислений:  $7715810 \times 6,67/100 = 31180$

## 5.5 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа либо оклада:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (составляет 10 – 20% от основной заработной платы), руб.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

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

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (0,2 – 0,5);

$k_p$  – районный коэффициент (для Томска – 1,3).

В таблице 3.7 приведен баланс рабочего времени каждого работника.

Таблица 3.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	120	120
Количество нерабочих дней		
выходные дни:	17	17
праздничные дни:	6	6
Потери рабочего времени		
отпуск:	0	0
невыходы по болезни:	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	97	97

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$ , руб.	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	25000	0,30	1,3	52000	433,33	50	21666,50
Студент	10000	0,30	1,3	20800	173,33	100	17333,00

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	З <sub>осн</sub> , руб.	З <sub>доп</sub> , руб.	З <sub>зп</sub> , руб.
Руководитель	21666,50	3250,00	24916,50
Студент	17333,00	2600,00	19933,00

## 5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	21666,50	3250,00
Бакалавр	17333,00	2600,00
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,305	
Итого:	13679,10	

## 5.7 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{внеб} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4),$$

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

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

$$Z_{внеб} = 0,16 \cdot (13679,1 + 24916,5 + 19933 + 2809 + 57465 + 5069) = 19819,46.$$

## 5.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Расчет бюджета затрат НИИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	
		Исп.1	Исп.2
1	Материальные затраты НИИ	12562,00	
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	467475,00	
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	21665,50	17333,00
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3250,00	2600,00
5	Отчисления во внебюджетные фонды	13679,10	
6	Накладные расходы	19819,46	
7	Бюджет затрат НИИ	555684,06	

Как видно из таблицы 11 основные затраты НИИ приходятся на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

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

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



Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается как:

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

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки.

Таблица 3.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп. 2	Исп. 3
1. Сложность технологии	0,10	4	3	3
2. Диэлектрические свойства	0,25	5	5	4
3. Термофизические свойства	0,15	4	3	3
4. Энергосбережение	0,25	4	3	2
5. Материалоемкость	0,25	5	3	4
ИТОГО	1			

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки представлена в таблице 3.13.

	Текущий проект	Исп. 1	Исп. 2
$I_{pi}$	4,50	3,50	3,25

Из расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному признаку ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект считается лишь научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки высчитать не представляется возможным.

В общем, этот проект является многообещающим исходя из ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет

использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых характеристик.

## Список публикаций

Пашков Д. А., Тютюнькова Д. О.; науч. рук. Погребенков В. М. Особенности состава и структуры современных ЛТСС материалов //Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых, г. Томск, 2015 г.

Тютюнькова Д.О., Пашков Д.А., науч. рук. Погребенков В.М. Роль стеклообразующих оксидов  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Ba}_2\text{O}_3$  в получении стеклокерамических материалов, г. Томск, 2015 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г21	Тютюнькова Дарья Олеговна

<b>Институт</b>	<b>Физики Высоких Технологий</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Технология силикатов и наноматериалов</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Химическая технология</b>


<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – низкотемпературный керамический материал на основе оксида бора. Область применения – электроника, электротехника, микроэлектроника.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности;  1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности;	Вредные факторы: повышенная запыленность воздуха рабочей зоны; повышенная температура воздуха рабочей зоны. Опасные факторы: токсическое воздействие на организм человека; электрический ток; движущиеся машины и механизмы; повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов.
<b>2. Экологическая безопасность</b>	Используемые в работе вещества не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Единственной необходимой мерой безопасности является очистка запыленного воздуха в пылеуловителях
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Возможные виды ЧС: возгорание, пожар, взрыв при работе с электрооборудованием, в частности с электропечами.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Правовые нормы трудового законодательства. Мероприятия по компоновке рабочей зоны.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К. Т. Н.		23.03.2016г

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г21	Тютюнькова Дарья Олеговна		22.03.2016