TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки химическая технология (18.03.01)
Отделение школы НОЦ им. Кижнера

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Синтез диопсида из природного сырья

УДК 66.091:549:642.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6А	Сагун Антон Игоревич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

Запланированные результаты обучения
по основной образовательной программе подготовки бакалавров
18.03.01 Химическая технология

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
Р1	Применять базовые и специальные, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1), CDIO(п. 1.1, 4.1, 4.3, 4.8)
Р2	Применять знания в области современных химических технологий для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-7,11,17,18, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2), CDIO (п. 1.1, 3.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-1,5,8,9, ОК-2,3), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), CDIO (1.2, 2.1, 4.5)
Р4	Разрабатывать *новые* технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование химической технологии, *проектировать объекты химической технологии в контексте предприятия, общества и окружающей среды*	Требования ФГОС (ПК-11,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.1.3) (ОК-9, ОК-10, ОК-13, ПК-4, 7, 10, 12 -17, 26) CDIO (п.1.3, 4.4, 4.7)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области современных химических технологий	Требования ФГОС (ПК-4,21,22,23,24,25, ОК-4,6), Критерий 5 АИОР (п.1.4), CDIO (п. 2.2)
Р6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, *выводить на рынок новые материалы*, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химико-технологическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,10,12,13,14,15, ОК-6,13,15), Критерий 5 АИОР (п.1.5) CDIO (п. 4.1, 4.7, 4.8, 3.1, 4.6)
Общекультурные компетенции		
Р7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5,9,10,11), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), CDIO (п. 2.5)

Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,7,8,12), Критерий 5 АИОР (2.6), CDIO (п. 2.4)
Р9	*Активно* владеть *иностранным языком* на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-14), Критерий 5 АИОР (п.2.2), CDIO (п. 3.2, 3.3)
Р10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, *демонстрировать лидерство в инженерной деятельности и инженерном предпринимательстве*, ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4) , Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3) CDIO (п. 4.7, 4.8, 3.1)

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) химическая технология (18.03.01.)
Отделение школы НОЦ им. 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
4Г6А	Сагуну Антону Игоревичу

Тема работы:

Синтез диопсида из природного сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.02.2020 г., 50-31/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: продукты обжига исходной шихты на основе орско-халиловского серпентинита и образцы керамики, полученные в результате обжига сформованных образцов на основе орско-халиловского серпентинита. Задачи исследования: 1. Анализ литературы по теме синтеза диопсида из различных сырьевых материалов; 2. Проведение серии изотермических обжигов в диапазоне температур 900 – 1300 °С; 3. Проведение рентгенофазового анализа полученных образцов; 4. Проведение экспериментов по получению диопсидовой керамики на основе орско-халиловского серпентинита и предварительно синтезированного диопсида; 5. Анализ полученных керамических образцов.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор литературных источников; 2. Постановка цели и задач исследования; 3. Объекты и методы исследований; 4. Исследования процессов фазообразования при синтезе диопсида из серпентинита и получение керамики на его основе; 5. Заключение.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.т.н. Кащук Ирина Владимировна
Социальная ответственность	Ассистент, Черемискина Мария Сергеевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.03.2020 г.

Задание выдал руководитель

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6А	Сагун Антон Игоревич		

TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) химическая технология (18.03.01)
Уровень образования бакалавриат
Отделение школы НОЦ им. Кижнера
Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2020 г.

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

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ревва И.Б.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 99 страницах, содержит 11 рисунков и 31 таблицу. Использовано 39 литературных источников и содержит 3 приложения.

Ключевые слова: кальций-магниевые силикаты, орско-халиловский серпентинит, диопсидовая керамика, синтез диопсида.

Объектами исследования являются продукты обжига исходной шихты на основе орско-халиловского серпентинита и образцы керамики, полученные в результате обжига сформованных образцов на основе орско-халиловского серпентинита.

Цель работы: 1) исследование процессов фазообразования при синтезе диопсида на основе орско-халиловского серпентинита;

2) Получение диопсидовой керамики на основе орско-халиловского серпентинита.

В процессе исследования проводился ряд изотермических обжигов для определения оптимальных параметров синтеза диопсида на основе орско-халиловского серпентинита, а также исследования по получению керамики с кристаллической фазой диопсида на основе орско-халиловского серпентинита.

В результате исследования установлено, что синтез диопсида происходит в результате взаимодействия продуктов разложения серпентина с остальными компонентами шихты. Также было определено, что керамика, полученная на основе шихты с предварительно синтезированным диопсидом, обладает лучшими свойствами по сравнению с образцами полученными на основе шихты без предварительного синтеза диосида.

Степень внедрения: НИОКР.

Область применения: технология керамических материалов.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 10
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР 11
1.1 Состояние минерально-сырьевой базы для производства кальций – магний – силикатной керамики 11
1.2 Свойства диопсидовой керамики и способы ее получения 16
1.3 Особенности твердофазного синтеза диопсида из различных сырьевых смесей 24
1.4 Заключение по литературному обзору 27
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 29
2.1 Серпентин 29
2.2 Кварц 29
2.3 Кальцит 30
2.4 Рентгенофазовый анализ 31
2.5 Растровая электронная микроскопия 32
2.6 Дифференциальный термический анализ 33
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА ДИОПСИДА ИЗ СЕРПЕНТИНИТА 34
3.1 Характеристика сырьевых материалов 34
3.2 Процессы фазообразования при синтезе диопсида из серпентинита 39
3.3 Получение диопсидовой керамики из серпентинита 45
3.4 Заключение по экспериментальной части 49
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 51
4.1 Анализ конкурентных технических решений 51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ 55
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования 55
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ 56
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования 57
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 63
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ 63

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ 64
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИП 65
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИП 67
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 68
4.3.6 Накладные расходы 68
4.4 Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования 69
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности 69
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности 70
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки 71
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 74
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 74
5.2 Профессиональная безопасность 75
5.2.1 Анализ вредных производственных факторов 75
5.3 Экологическая безопасность 79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях 81
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в процессе проведения исследований 81
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС 81
ВЫВОДЫ 83
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА 84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 84
Приложение А 90
Приложение Б 96
Приложение В 99

ВВЕДЕНИЕ

Диопсид – это цепочечный кальций-магниевый силикат. Диопсид обладает высокими электрофизическими свойствами, прочностными характеристиками и кислотостойкостью, что обуславливает его использование в качестве основной кристаллической фазы в составе различных видов керамики.

В связи с тем, что действующие месторождения диопсида распределены по территории России неравномерно, возрастает актуальность исследований по внедрению в производственный оборот местного минерального сырья, которое потенциально может быть использовано для синтеза диопсидовой керамики. В качестве такого сырья могут быть использованы серпентинсодержащие породы, широко распространенные в уральском регионе.

Цель работы:

исследование процессов фазообразования при синтезе диопсида на основе орско-халиловского серпентинита и получение диопсидовой керамики на основе синтезированного диопсида.

Для достижения цели работы были поставлены и решены следующие задачи:

1) анализ литературы по теме синтеза диопсида из различных сырьевых материалов;

2) проведение серии изотермических обжигов в диапазоне температур 900 – 1300 °C;

3) проведение рентгенофазового анализа полученных образцов;

4) проведение экспериментов по получению диопсидовой керамики на основе орско-халиловского серпентинита и предварительно синтезированного диопсида;

5) анализ полученных керамических образцов.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Состояние минерально-сырьевой базы для производства кальций – магний – силикатной керамики

В настоящее время добыча и переработка природных ресурсов составляет большую часть российской экономики и играет важную роль во всех сферах жизнедеятельности государства. Российский минерально-сырьевой комплекс обеспечивает стабильную работу различных отраслей промышленности, является залогом экономической безопасности и независимости, а также вносит существенный вклад – более 50 % согласно [1], в формирование бюджета государства. Освоение минерально-сырьевых ресурсов обеспечивает создание новых рабочих мест, усовершенствование инфраструктуры России и развитие регионов страны. Рациональное использование ресурсов и расположение производительных сил способствует решению социально-экономических проблем, обеспечению благосостояния как граждан, так и государства в целом.

В Российской Федерации имеются большие запасы ценного минерального сырья, однако распределение минеральных полезных ископаемых по территории страны является неравномерным. Для их эффективного использования, необходимо следовать принципам рационального размещения производительных сил [2].

Принцип расположения производства вблизи источников сырья, топлива, энергии и районов потребления продукции позволяет существенно снизить затраты на транспортные перевозки, что может значительно повышать экономическую эффективность добычи ресурсов.

Чрезвычайно важен принцип рационального освоения природных ресурсов. Первоочередное освоение и комплексное использование наиболее эффективных видов природных ресурсов привело к истощению существующих месторождений, поэтому необходимо не только обратить

внимание на прежде не используемые побочные продукты добычи, но и включить в хозяйственный оборот природные ресурсы Севера.

Важна рациональная организация производства по территории страны. Правильно разработанная территориальная схема размещения производства по территории РФ позволит получить тот же объем производимой продукции с меньшими издержками.

Необходима реализация преимуществ и экономических выгод международного разделения труда в размещении производительных сил. Вследствие развития рыночной экономической системы в России данный принцип приобретает особое значение, так как использование преимуществ экономического сотрудничества позволяет более рационально развивать производительные силы страны.

Наряду с принципами размещения производительных сил необходимо учитывать факторы размещения [3]. Факторы размещения производительных сил являются совокупностью условий, определяющих наиболее подходящий выбор размещения хозяйственных объектов. Для отраслей добывающей промышленности ведущими факторами, определяющими территориальное размещение производительных сил и организацию хозяйственной структуры регионов, являются природно-ресурсный и транспортный факторы. Обеспеченность районов добычи электроэнергией позволяет размещать энергоемкие производства, а проведение научно-технических разработок и внедрение их в промышленность повышает эффективность добычи ресурсов.

В ряде регионов существуют месторождения как железистых (Алданское и Качканарское), так и безжелезистых (Слюдянское) диопсидов, которые могут быть использованы во многих областях керамической промышленности, таких как строительная [4], электротехническая [5, 6] и тонкая керамика [7].

В работе [8] проведен подробный анализ месторождений диопсида в России. Среди флогопитоносных районов Алданского месторождения, крупнейшим является Центрально-Алданский комплекс, метаморфические

породы которого представлены преимущественно кристаллическими флогопит-диопсидовыми и диопсидовыми сланцами, содержание диопсида в которых достигает 96 – 100 %. Главный морфологический тип промышленных залежей – пластообразные субпослойные тела или зоны диопсидитов с гнездовыми или жилоподобными скоплениями крупнокристаллического флогопита. Субпослойные тела на 70 – 90 % состоят из диопсидитов, представленных в основном зеленым и ярко-зеленым диопсидом. Такие диопсидиты в качестве примесей могут содержать порядка 4,0 – 5,0 % мас. оксидов железа, марганца и титана; 0,3 – 0,4 % оксидов щелочных металлов; 1,5 – 4,0 % оксида алюминия.

Главными рудоносными породами Качканарского титаномагнетитового месторождения являются пироксениты. Клинопироксены как рудных, так и безрудных пироксенитов близки по составу диопсидам Алданских месторождений и содержат порядка 4,0 – 8,0 мас. % оксидов железа марганца и титана.

Слюдянская серия слюдянского кристаллического комплекса включает несколько групп метаморфических пород, самая объемная из которых карбонатная группа (более 50 %). Порядка 10 % разреза серии занимают кварц-диопсидовые породы, которые являются главными типами безжелезистых диопсидовых руд. Химический состав кварц-диопсидовых пород практически полностью определяется SiO_2, MgO, CaO и CO_2 при широких вариациях только первых двух. Содержание в породах Al_2O_3, FeO, TiO_2, MnO, K_2O, Na_2O в сумме обычно составляет не более нескольких десятых процента. Наряду с кварц-диопсидовыми породами в слюдянском комплексе источником безжелезистого диопсида является месторождения волластонитовых руд карбонатного типа. Данные руды содержат безжелезистый диопсид как второстепенный минерал (от 5 до 30 %).

Несмотря на наличие месторождений диопсидов различного качества, сложившаяся в последнее время экономическая ситуация в России, а именно: большие затраты на перевозку сырья из удаленных регионов страны, а также

истощенность некоторых промышленно важных месторождений минерального сырья обуславливает актуальность исследований по внедрению в производственный оборот местного минерального сырья, которое потенциально может быть использовано для синтеза диопсидовой керамики. В качестве такого сырья могут быть использованы горные породы, содержащие в достаточном количестве кальций- и магнийсодержащие минералы, в том числе тремолит, серпентин, доломит и тальк.

В источниках [9 - 11] приведен анализ месторождений серпентинита, доломита, тремолита, талька и кальцита. Уральский регион обладает значительными запасами магнезиальносиликатного сырья, представленного как безводными силикатами магния (оливинитами), так и гидросиликатами магния (серпентинитами и тальками). Дуниты (оливины в стадии серпентинизации) и серпентиниты являются основной составляющей этого сырья и прослеживаются на всей территории региона. Крупнейшими месторождениями серпентинитов в регионе являются Сарановское и Баженовское месторождения. Карбонатные породы Уральского региона представлены доломитами, известняками, мелом и мрамором. На Урале существует более пятнадцати месторождений доломита $CaMg(CO_3)_2$, различающегося по составу. Известняки состоят преимущественно из кальцита с примесными доломитом, кварцем и глинистыми минералами. Состав известняков Самского месторождения близок к теоретическому составу минерала кальцита. Наиболее крупным месторождением мела в регионе является месторождение Ак-Булак. Содержание $CaCO_3$ в меле достигает 70 – 98 %. Мрамор в основном состоит из кристаллов кальцита и доломита. В качестве примесей в мраморе содержится кварц, халцедон, пирит и т.д. На Урале находится более шести месторождений мрамора. Одно из самых крупных это Коелгинское месторождение. Тремолит $Ca_2Mg_5[Si_8O_{22}](OH)_2$ Алгуйского месторождения Кемеровской области представлен игольчатыми кристаллами. Во всех пробах породы преобладает тремолит, также присутствует кальцит в количестве 5 – 30 мас. %

Представляющими промышленный интерес по добыче высококачественных тальковых пород с высоким содержанием талька $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ являются Онотское (Иркутская область) и Алгуйское (Кемеровская область) месторождения. Химический состав проб минерального сырья указан в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав минерального сырья [9 – 11]

Месторождение	Содержание оксидов, % мас.							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	Mn_3O_4	$\Delta m_{прк}$
Серпентиниты								
Сарановское	36,70	3,50	8,50	2,00	следы	35,20	-	10,80
Баженовское	40,44	1,40	2,80	0,18	следы	40,58	-	13,53
Тремолиты								
Алгуйское	45,2	0,99	0,42	-	24,50	19,80	-	-
Доломиты								
Кваркенское	3,82	2,86	-	-	33,06	22,96	-	48,00
Красноуфимское	0,68	0,22	0,27	-	30,56	21,60	-	46,67
Карагипское	0,2	0,25	0,43	-	30,66	21,73	0,01	46,74
Тальк								
Онотское	62,20	0,36	0,24	-	0,09	32,23	-	5,10
Алгуйское	66,54	0,31	0,08	-	0,01	28,80	-	4,06
Известняк, мел, мрамор								
Самское	0,26	-	-	-	55,83	0,44	-	43,47
Ак-Булак	4,61	1,48	1,51	-	54,03	0,93	-	37,44
Коелгинское	0,28	-	-	-	55,60	0,25	-	43,87

1.2 Свойства диопсидовой керамики и способы ее получения

Природный диопсид $CaMg[Si_2O_6]$ относится к группе моноклинных пироксенов. Диопсид является крайним членом изоморфного ряда диопсид $CaMg[Si_2O_6]$ – геденбергит $CaFe[Si_2O_6]$. Широко распространен как породообразующий минерал во многих изверженных породах, а также в контактово-метасоматических образованиях. Расчетный химический состав диопсида (% мас.): CaO – 25,9; MgO – 18,5; SiO_2 – 55,6. В виде примесей содержит FeO, MnO, иногда Al_2O_3, Fe_2O_3, Cr_2O_3 [11]. Кристаллическая решетка диопсида представлена в виде простых одинарных цепочек кремнекислородных тетраэдров (рисунок 1.1).

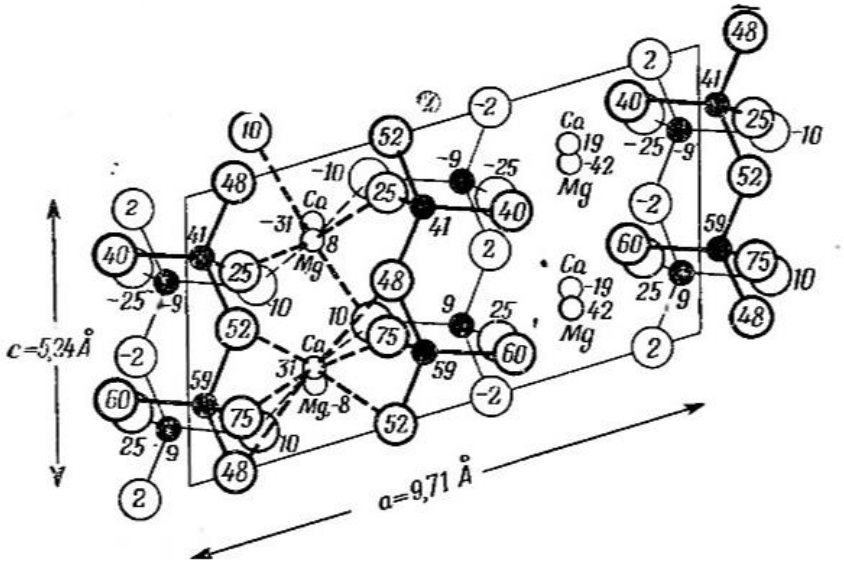

Рисунок 1.1 – Кристаллическая решетка диопсида [12]

Ионы магния находятся в октаэдрической координации, а ионы кальция окружены восьмью ионами кислорода. Ионы Mg^{2+} главным образом располагаются между вершинами цепочек $[Si_2O_6]$, тогда как ионы Ca^{2+} – преимущественно между основаниями кремнекислородных тетраэдров [13].

Минерал окрашен в различные, преимущественно бледные оттенки грязно-зеленого или серого цвета. Имеет стеклянный блеск. Твердость по шкале Мооса составляет 5,5 – 6,0. Хрупкий. Плотность 3,22 – 3,30 г/см^3. Температура плавления 1390 °С, в кислотах почти не разлагается.

Диопсид имеет структурное сходство с клиноэнстатитом, который является основной кристаллической фазой стеатитовой керамики, традиционно применяемой в высокочастотной технике. Для изготовления такой керамики в качестве сырья используют различные виды талька, который в процессе обжига при 900 – 1000 °С теряет кристаллизационную воду с образованием энстатита и кремнезема. Однако вследствие ограниченности запасов высококачественного талька Онотского месторождения, в работах [6, 14] рассматривается использование безжелезистого диопсида Слюдянского месторождения в качестве основного сырьевого материала для производства высокочастотных изоляторов. Диопсид имеет высокие электрофизические и прочностные характеристики, что позволяет использовать его в высокочастотной технике. В работах [5, 8] была получена диопсидовая керамика с характеристиками, указанными в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Свойства керамических изделий для электронной техники

Свойство	Диопсидовая керамика [5, 8]	Стеатитовая керамика СК-1 [15]	Требования по ОСТ 110309-86
Удельное объемное электросопротивление при температуре 100 °С, Ом·см	$(5{,}0 – 8{,}6)\cdot 10^{14}$	10^{15}	10^{12}
Тангенс угла жиэлектрических потерь ($tg\ \delta\cdot 10^4$)	4,0 – 4,5	6,0	7,5
Диэлектрическая проницаемость (ε)	7,5	6,0	7,5
Предел прочности при изгибе, МПа	125 – 162	170	127

Данные значения соответствуют требованиям ОСТ II 0309-86 «Материалы керамические для изделий электронной техники», что позволяет

использовать диопсидовые изоляторы наряду со стеатитовыми. Диопсид не имеет полиморфных модификаций, что исключает старение керамики на его основе, в отличие от стеатитовых материалов.

Электроизоляционную керамику с кристаллической фазой диопсида можно получать не только на основе природного диопсида. Синтез диопсида может быть осуществлен из различных природных и синтетических компонентов.

Синтез диопсида из природного сырья. В настоящее время наиболее подробно исследованным является процесс синтеза диопсида и получение диопсидовой керамики на основе тремолита Алгуйского месторождения [16, 17]. Структура тремолита представляет собой ленты [Si_8O_{22}], состоящие из сдвоенных пироксеновых цепочек [Si_2O_6]. Вследствие кратности структуры диопсида структуре тремолита, его синтез из тремолита происходит легче. Полученная керамика обладала электрофизическими свойствами схожими с керамикой на основе природного диопсида:

- тангенс угла диэлектрических потерь $tg\ \delta = (5{,}3 – 5{,}5) \cdot 10^{-4}$;
- диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 7{,}56 – 7{,}65$;

Помимо электроизоляционной керамики, выполненной по традиционной технологии, существует низкотемпературная совместно спекаемая керамика (Low Temperature Co-Fired Ceramics – LTCC), которая нашла применение при создании многослойных плат и подложек для микросхем. Достоинством данной технологии является достижение более низкой температуры спекания керамики – порядка 800 – 1000 °C – за счет относительно большого количества стеклофазы (40 – 60 мас. %), что позволяет использовать при производстве плат относительно легкоплавкие металлы – золото, серебро и медь. Наибольшее распространение получила LTCC на основе корунда. Корундовые LTCC материалы обладают низкой диэлектрической проницаемостью, однако их теплопроводность достаточно мала, что затрудняет теплоотвод и может привести к поломке электрического прибора. Корундовые LTCC изготавливают путем смешения корунда и

стекольной фритты. Различные исследования предлагают получать диопсидовые LTCC путем ситаллизации стекол.

Исследования [18, 19] показали, что кристаллизация стекол диопсидового состава позволяет получить материал с меньшей диэлектрической проницаемостью и большей теплопроводностью, что особенно важно для производства подложек под светодиоды. Сравнение свойств LTCC на основе Al_2O_3 и диопсида представлено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Свойства LTCC на основе Al_2O_3 и диопсида

Свойство	LTCC	
	Корундовая [20]	Диопсидовая
Диэлектрическая проницаемость (ε)	7,90 – 7,92	6,97 – 7,15
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	1,10	4,24

Таким образом, диопсид является перспективным материалом в области электротехнической керамики. Высокие прочностные свойства и электрофизические характеристики керамики на основе диопсида обуславливают его использование в качестве электроизоляционного материала в области высоких частот. Также возможен синтез диопсидовой керамики из тремолита, диэлектрические свойства которой практически не отличаются от керамики на основе природного диопсида. Использование реактивов высокой чистоты позволяет получать стеклокерамические изделия по LTCC технологии с повышенной по сравнению с корундовой керамикой теплопроводностью.

Применение диопсидовых пород в массах тонкой и строительной керамики позволяет не только повысить прочность изделий, но также снизить расход такого дефицитного сырья как беложгущиеся глины без ухудшения свойств керамики. Использование диопсидовых пород в керамических массах для производства плитки было изучено в работах [4, 8]. Введение безжелезистых кварц-диопсидовых пород от 16 до 50 % в составы масс для

производства фасадных плиток улучшает их технологические и эксплуатационные свойства: огневая усадка снижается практически до нуля, термостойкость и прочность изделий увеличивается. Применение апатит-кварц-диопсидовых пород в качестве основного сырья в составе масс для напольных плиток также повышает прочностные свойства изделий и уменьшает их воздушную и огневую усадку.

Исследования [20, 21] показали, что включение диопсида в состав фарфоровых масс значительно снижает температуру обжига изделий. В результате введения в состав шихты диопсидового концентрата вместо эквивалентного количества кварца и глинозема температура обжига фарфора снизилась на 100 °С и составила 1150 – 1170 °С. Помимо снижения температуры обжига, фарфор с добавкой диопсида обладает большей прочностью при сжатии и меньшей усадкой при равном водопоглощении. Снижение температуры обжига при введении диопсида происходит из-за образования легкоплавких эвтектик в системе MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2, однако вместе с этим интервал спекшегося состояния уменьшается до 20 – 40 °С. Для увеличения интервала спекшегося состояния в работах [11, 21] рекомендуется использование тонкодисперсного кварцсодержащего компонента. Вязкость расплава при этом увеличивается вследствие более интенсивного насыщения расплава кварцем. Причиной снижения усадки является то, что диопсид, растворяясь в расплаве, сохраняет свой структурный пироксеновый каркас, препятствуя изменению первоначального объема керамического изделия.

В работе [8] также было изучено использование железосодержащих диопсидовых пород (4 – 8 % мас. Fe_2O_3) в составах масс для производства фасадных керамических плиток. При введении в состав масс от 20 до 30 % диопсида значительно улучшаются свойства изделий. Они обладают большей прочностью, меньшей усадкой, большей термостойкостью и морозостойкостью. В сравнении с плитками, изготавливаемыми с добавлением безжелезистого диопсида, они характеризуются практически такими же прочностью и водопоглощением, однако, термостойкость и

морозостойкость плиток на основе безжелезистого диопсида выше. Морозостойкость сильно зависит от пористости и характера пор. Если поры крупные, то они в меньшей мере заполняются водой, тем самым напряжения, возникающие внутри пор, снижаются. Оксиды железа, присутствующие в диопсидовой породе, выступают в качестве плавня, и, как следствие, происходит более интенсивное спекание. Поэтому объем пор в плитках, выполненных с добавкой железистого диопсида, меньше и, следовательно, морозостойкость ниже [22].

Таким образом, как железосодержащие, так и безжелезистые диопсидиты являются отличным компонентом масс строительной и тонкой керамики. Использование диопсидсодержащих пород в качестве основной кристаллической фазы для производства плиток значительно улучшает их эксплуатационные свойства. Добавка диопсида к фарфоровым массам интенсифицирует процессы спекания керамики за счет взаимодействия минерала с глинистыми компонентами до появления расплава, тем самым понижая температуру обжига фарфора.

В работах [8, 11] исследована возможность изготовления керамических пигментов с кристаллической структурой диопсида из природного диопсида и алгуйского тремолита. Благодаря своей склонности к изоморфизму, температурной и химической устойчивости диопсид был выбран основой для получения керамических пигментов. Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, находящиеся в структуре диопсида способны изоморфно замещаться на ионы хромофоры. Причем замещение ионов магния проходит легче вследствие большей близости ионного радиуса Mg^{2+} к ионным радиусам хромофоров, чем у ионов Ca^{2+}. Было также выяснено, что процесс замещения ионов не сопровождается увеличением внутренней энергии системы и ее дестабилизацией, так как ионы Mg^{2+} и Ca^{2+}, находящиеся в октаэдрической координации, замещаются на ионы хромофоров, также находящиеся в октаэдрической координации.

Для получения керамических пигментов на основе природного диопсида необходимо использовать диопсидиты с содержанием диопсида не

менее 90 %. После кипячении измельченной диопсидовой породы в растворах солей, содержащих ионы-хромофоры, и последующего обжига при температуре 1100 °С получаются пигменты синего, салатного и черного цвета. Обжиг диопсида с красящими оксидами при температурах 1100 – 1200 °С позволяет получить пигменты зеленого, коричневого, синего и черного цвета.

При температурной обработке тремолита он разлагается на пироксен со структурой диопсида и SiO_2. Поэтому замещение ионов в кристаллической структуре минерала проходит более интенсивно, чем в кристаллической структуре природного диопсида вследствие эффекта Хедвала – химическая активность вещества повышается при перестройке его кристаллической структуры. Получаемые пигменты после обжига при температуре 1200 °С имеют коричневые, оливковые, синие и черные цвета.

В работах [23 – 27] диопсид рассматривается как биоактивный материал для производства пористых скаффолдов. Идеальный скаффолд должен быть пористым для роста костной ткани, биоразлагаемым без выделения токсичных веществ, биосовместимым и прочным. Гидроксиапатит (ГАП) $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ является одним из лучших материалов для использования в биотехнологии. ГАП обладает отличной биосовместимостью, остеокондуктивностью и его химический состав схож с химическим составом костной ткани. Однако низкие прочностные характеристики материала ограничивают его использование. Скаффолды на основе диопсида обладают относительно большим пределом прочности на сжатие (300 МПа [24]) по сравнению с ГАП (110 МПа) и удовлетворительной биосовместимостью. На диопсидовой подложке, помещенной в SBF (Simulated Body Fluid), формируется слой гидроксиапатита, который проявляет большую биоактивность по сравнению с подложкой из чистого ГАП. Присутствие ионов магния в кристаллической решетке предотвращает быстрое разложение фосфатной фазы и приводит к увеличению устойчивости диопсида в SBF. Также отмечается, что устойчивость диопсида к кислотным и физиологическим растворам выше, чем у гидроксиапатита, что делает

материалы на его основе перспективными для использования в качестве костных имплантатов.

Порошок для синтеза диопсидовых скаффолдов может быть получен различными методами, такими как твердофазный синтез из соответствующих оксидов, золь-гель метод, а также метод совместного осаждения из водных растворов.

Синтез диопсида из чистых оксидов проходит при температуре 1300 °C. При меньшей температуре термической обработки в системе наблюдаются побочные фазы мервинита $Ca_3Mg[SiO_4]_2$, окерманита $Ca_2Mg[Si_2O_7]$ и остаточного SiO_2 [28].

Для подготовки порошка золь-гель способом используются $Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$ и $Mg(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$, растворенные в этаноле. К полученному раствору добавляется тетраэтоксисилан (ТЭОС) для образования золя, который затем в результате процессов гидролиза и поликонденсации переходит в гель. Полный выход диопсида достигается при термообработке прекурсора при температуре 1100 °C, снижение температуры обжига приводит к появлению побочной фазы окерманита [24].

Для получения диопсида методом соосаждения после добавления ТЭОС к раствору солей $Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$ и $Mg(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$ в этиловом спирте, по каплям приливают водный раствор аммиака до образования осадка. Кристаллизация диопсида из порошка, полученного таким методом, наблюдается уже при температуре 845 °C и к 1100 °C степень кристаллизации диопсида резко увеличивается [25]. Кристаллическая фаза полученного материала полностью состоит из диопсида, побочные фазы при этом не образуются. С целью удешевления процесса синтеза диопсида предлагается использовать белую сажу вместо ТЭОС [26] и яичную скорлупу вместо карбоната кальция [27].

Твердофазный синтез диопсида является наиболее простым и дешевым методом получения диопсида из химически чистых реагентов. Однако для наиболее полного выхода диопсида необходима температурная обработка

исходной смеси при относительно большой температуре. С другой стороны, порошок, синтезированный золь-гель методом и методом соосаждения из раствора позволяет получить прекурсор с крайне высокой степенью гомогенности распределения компонентов, что делает возможным получение изделий с кристаллической фазой диопсида при сравнительно низких температурах.

Таким образом, диопсид является перспективным материалом для использования во многих отраслях керамической промышленности. Высокие диэлектрические характеристики позволяют ему использоваться в качестве основной кристаллической фазы керамических изоляторов, работающих в СВЧ-диапазоне. Относительно высокие прочностные характеристики обуславливают его включение в составы масс строительной и тонкой керамики. Добавки диопсида к керамическим массам снижают температуру обжига изделий за счет образования с другими компонентами легкоплавких эвтектик. Склонность к изоморфному замещению ионов в структуре диопсида позволяет использовать диопсид в качестве основы керамических пигментов. Отсутствие токсичности и биосовместимость диопсида позволяют рассматривать его как перспективный материал для применения в биотехнологии.

1.3 Особенности твердофазного синтеза диопсида из различных сырьевых смесей

Использование химических методов (золь-гель синтез, метод соосаждения) позволяет получать изделия с исключительными свойствами. Высокая стоимость чистых реагентов для синтеза, сложность применяемого оборудования и технологических переделов не позволяет применять данные способы в крупнотоннажном производстве. Для таких целей экономически более целесообразным является использование более дешевого природного сырья, содержащего такие минералы как тремолит, тальк, волластонит и доломит.

Синтезу диопсида из тремолита и получению диопсидовой керамики на его основе посвящено достаточно большое количество исследований. В работе [17] подробно описан механизм силикатообразования при синтезе диопсида на основе алгуйского тремолита, который содержит порядка 20 – 25 мас. % примесного кальцита. Синтеза диопсида из тремолита и кальцита протекает по следующему механизму. В диапазоне температур от 500 до 800 °С происходит разложение карбоната кальция с образованием оксида кальция. При дальнейшем увеличении температуры начинается разложение тремолита (уравнение реакции 1.1) с образованием пироксена промежуточного состава, имеющего структуру диопсида, и кремнезема.

$$2CaO{\cdot}5MgO{\cdot}8SiO_2{\cdot}H_2O = 2CaO{\cdot}5MgO{\cdot}7SiO_2 + SiO_2 + H_2O \quad (1.1)$$

Нестехиометрический пироксен взаимодействует с оксидом кальция и освободившимся кремнеземом с образованием диопсида (уравнение реакции 1.2).

$$2CaO{\cdot}5MgO{\cdot}7SiO_2 + 3CaO + 3SiO_2 = 5(CaO{\cdot}MgO{\cdot}2SiO_2) \quad (1.2)$$

Параллельно протекает процесс взаимодействия кремнезема с оксидом кальция с образованием волластонита $CaO{\cdot}SiO_2$. При дальнейшем увеличении температуры до 1200 °С, волластонит реагирует с промежуточным пироксеном с образованием диопсида по реакции 1.3. Наиболее полный выход диопсида наблюдается при температуре 1300 °С.

$$2CaO{\cdot}5MgO{\cdot}7SiO_2 + 3(CaO{\cdot}SiO_2) = 5(CaO{\cdot}MgO{\cdot}2SiO_2) \quad (1.3)$$

В работе [29] изучено использование нефелинового шлама, содержащего 85 – 88 % двухкальциевого силиката, который при взаимодействии с вводимыми в шихту кремнеземом и оксидом магния способен к образованию диопсида (реакция 1.4).

$$Ca_2[SiO_4] + 3SiO_2 + 2MgO = 2CaMg[Si_2O_6] \quad (1.4)$$

Образование диопсида наблюдалось при температуре 1200 °С. Материал имел сложный фазовый состав: наряду с диопсидом в системе также наблюдалось образование таких побочных фаз как волластонит и окерманит.

Использование талька и волластонита для синтеза керамических пигментов с кристаллической фазой диопсида изучалось в работах [30, 31]. Для достижения стехиометрии диопсида производилась дошихтовка исходной смеси талька и волластонита оксидами кальция, магния и кремния (уравнения реакции 1.5 – 1.7).

$$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2 + 4CaSiO_3 + MgO = 4CaMg[Si_2O_6] + H_2O \quad (1.5)$$

$$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2 + 2CaSiO_3 + CaO = 3CaMg[Si_2O_6] + H_2O \quad (1.6)$$

$$Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2 + 3CaO + SiO_2 = 4CaMg[Si_2O_6] + H_2O \quad (1.7)$$

Диопсид образуется в результате обжига смесей при температуре 1200 – 1300 °C. При осуществлении синтеза диопсида по реакции 1.5 в составе конечного материала присутствует большое количество остаточного волластонита и побочных продуктов реакции – форстерита и энстатита. По реакции 1.6 наблюдается образование диопсида, а также метасиликата магния (также в конечном материале присутствует непрореагировавший кремнезем).

Недостаточный выход диопсида в процессе синтеза объясняется протеканием параллельных реакций образования $Ca_2[SiO_4]$ и $Ca_3[Si_2O_7]$ при взаимодействии оксида кальция и волластонита с оксидом кремния. Слой образовавшихся силикатов кальция препятствует диффузии ионов покрывающих регентов через слой продукта реакции к покрываемым компонентам, что затрудняет синтез диопсида.

Для повышения выхода диопсида и снижения скорости образования побочных продуктов реакции предлагается скорректировать состав шихты таким образом, чтобы исходные компоненты находились в ней в нестехиометрических относительно реакции образования диопсида соотношениях. Изменение соотношения компонентов приводит к изменению термодинамических условий протекания реакции, что может способствовать увеличению выхода целевых фаз [32]. Соотношения $MgO:CaO:SiO_2$ составляли от 4:3:7 до 3:2:6 моль. Диопсид, полученный по нестехиометрическим реакциям, имеет более высокую степень кристалличности. При этом снижается число и количество побочных фаз.

Особенности синтеза диопсида из смеси карбоната кальция, оксида магния и диоксида кремния описаны в работах [27, 28] (уравнение реакции 1.8).

$$CaCO_3 + MgO + 2SiO_2 = CaMg[Si_2O_6] + CO_2 \quad (1.8)$$

Разложение карбоната кальция начинается при температуре 680 °С, образующийся при этом свободный оксид кальция проявляет достаточно высокую химическую активность, что связано с его низкой степенью кристаллизации. Оксид кальция активно взаимодействует с другими компонентами шихты с образованием мервинита и окерманита (уравнения реакции 1.9 и 1.10) уже при температуре порядка 700 – 750 °С.

$$MgO + 2SiO_2 + 3CaO = Ca_3Mg[SiO_4]_2 \quad (1.9)$$

$$MgO + 2SiO_2 + 2CaO = Ca_2Mg[Si_2O_7] \quad (1.10)$$

Диопсид образуется при температуре 880 – 900 °С, а при достижении температуры 1300 °С диопсид является единственной кристаллической фазой.

Для синтеза диопсида предлагают использовать доломит в качестве исходного сырья [33, 34]. Синтез диопсида протекает согласно уравнению реакции 1.11. Выход диопсида максимален при температуре 1300 °С.

$$CaMg[CO_3]_2 + 2SiO_2 = CaMg[Si_2O_6] + 2CO_2 \quad (1.11)$$

Синтез диопсида возможен путем кристаллизации стекол диопсидового состава [18, 28]. При плавлении исходной шихты, состоящей из SiO_2, $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$, при температуре 1500 °С образуется стекло, которое при последующей термической обработке начинает кристаллизоваться при температуре 830 °С, при этом в образце присутствует только кристаллическая фаза диопсида и остаточное стекло.

1.4 Заключение по литературному обзору

Диопсид является перспективным материалом для применения в керамической промышленности. Его достаточно высокие прочностные характеристики, хорошие электрофизические свойства, кислотостойкость и стабильность свойств при различных температурах позволяет рассматривать

диопсид в качестве основной кристаллической фазы в таких областях как электроизоляционная керамика, биокерамика, тонкая и грубая строительная керамика. Керамика на основе диопсида может быть получена различными способами, каждый из которых имеет свою область применения. Золь-гель методы и способы соосаждения позволяют получать материалы, компоненты которых распределены с высокой степенью гомогенности, что позволяет проводить синтез при более низких температурах, а также получать монофазный материал, обладающий более совершенной структурой. Ввиду высокой цены на исходные компоненты, материал, полученный такими способами, невозможно использовать в крупнотоннажном производстве. Однако для изготовления керамических имплантатов, требования к качеству которых высоки, использование дорогого синтетического сырья вполне оправдано. Для применения в электроизоляционной, тонкой и строительной керамике диопсид можно синтезировать проведением обжига исходных материалов при сравнительно высоких температурах. Твердофазный синтез диопсида можно проводить как из дешевого природного сырья, так и из сравнительно дорогого сырья с высокой степенью чистоты.

Твердофазный синтез является более экономичным и простым методом синтеза материалов, однако для получения керамики с желаемыми свойствами необходимо изучение особенностей фазообразования и выявления оптимальных параметров обжига. Также для производства изделий бытовой и строительной керамики с диопсидовой кристаллической фазой целесообразно использовать достаточно распространенные и доступные сырьевые материалы, такие как серпентинитовые породы. Несмотря на большое количество работ, посвященных получению керамики с кристаллической фазой диопсида, механизмы синтеза диопсида и процессы фазообразования при обжиге различных сырьевых смесей изучены недостаточно. Поэтому исследование процессов фазообразования при синтезе диопсида из серпентинита и получение диопсидовой керамики на его основе является актуальным.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Серпентин

Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ – образуется при метаморфизме оливиновых и пироксеновых пород под действием растворов углекислоты в воде [36]:

$$2\{2(Mg, Fe)O\cdot SiO_2\} + 2H_2O + CO_2 = 3(Mg, Fe)O\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O + MgCO_3$$

Теоретический химический состав серпенитина: 43,0 % MgO, 44,1 % SiO_2 и 12,9 % H_2O [13]. У серпентина существуют следующие разновидности: хризотил, антигорит, хризотил-асбест, асбест. Серпентин и его разновидности часто содержат изоморфно замещенные оксиды железа, марганца и никеля. В зависимости от разновидности твердость серпентина по шкале Мооса изменяется в диапазоне от 2 до 3,5. Спайность наблюдается только у крупнопластинчатых разностей антигорита. Минерал обладает пестрой окраской с различными оттенками зеленого цвета, имеет стеклянный блеск.

Серпентин и его разновидности обладают слоистой структурой, сходной со структурой каолинита. Однако в отличие от каолинита, пакеты обращены «бруситовыми» слоями навстречу друг к другу [13]. Разложение минерала в серной и соляной кислоте проходит относительно медленно.

Применяется серпентин в качестве облицовочного материала, поделочного камня. Используется в качестве сырья для производства форстеритовых огнеупоров и получения различных соединений магния.

2.2 Кварц

Кремнезем SiO_2, обладает сложным полиморфизмом [36]. Основными полиморфными модификациями являются кварц, тридимит и кристобалит. Наиболее распространенной формой SiO_2 в природе является β-Кварц. Кварц может находиться как в виде отдельной породы, так и в составе различных горных пород (пегматиты, нефелиновые сиениты). Кварц обладает каркасной кристаллической решеткой, состоящей из винтообразных цепочек в виде незамкнутых колец тетраэдров $[SiO_4]$ [36]. Цвет кварца может быть самым

разнообразным, однако наиболее распространена молочно-белая и светло-серая окраска. Показатели преломления: Ng = 1,553, Nm = 1,544. Твердость по Шкале Мооса равна 7. В природе встречаются следующие разновидности β-Кварца: горный хрусталь, жильный кварц, кварцевые пески, маршалиты, песчаники, халцедон, агат, яшма [13].

Кварц широко используется в стекольно-керамической промышленности, в радиотехнике. Горные хрустали применяются для изготовления оптических приборов. Окрашенные и прозрачные разновидности применяются в качестве поделочных камней и украшений.

2.3 Кальцит

Кальцит $CaCO_3$ кристаллизуется в тригональной или ромбической сингонии. Структура ромбической модификации кальцита (арагонита) имеет гексагональную плотнейшую упаковку ионов, а тригональная модификация (фатерит) образует искаженную кубическую плотнейшую упаковку [13]. Кальцит встречается в виде сплошных, плотных агрегатов – мрамор и известняк, землистых массах – мел, параллельных и субпараллельных сростков волокнистых масс – атласный шпат. Кальцит в основном бесцветный. Также распространены кальциты молочно-белого цвета и минералы, окрашенные в светлые оттенки желтого зеленого и розового. Кальцит обладает стеклянным блеском. Показатели преломления: Nm = 1,658, Np = 1,486. Твердость по шкале Мооса – 3. При взаимодействии с соляной кислотой идет бурная реакция с выделением CO_2. Образование кальцита происходит в процессе выветривания и осадочным путем. Кальцит гидротермального происхождения образуется в контактовометасоматических месторождениях путем переотложения и перекристаллизации известняков.

Известняки используют в химической промышленности, металлургии, для изготовления вяжущих материалов. Мрамор применяется в качестве строительного материала и скульптурного камня. Мел используется как

пишущий, красочный, полировальный материал и как сырьевой материал во многих отраслях промышленности.

2.4 Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый анализ – метод исследования кристаллических веществ, позволяющий определить их качественный и количественный состав. В результате интерференции рентгеновских лучей, рассеянных электронами атомов изучаемого объекта, образуется дифракционная картина, анализ которой позволяет определить значения межплоскостных расстояний в поликристаллическом образце. Каждое вещество характеризуется своим набором межплоскостных расстояний, по которым его и можно идентифицировать.

Длина волны рентгеновского излучения соизмерима с межплоскостным расстоянием в кристалле. При облучении кристалла энергия рассеивается в разных направлениях с различной интенсивностью. Усиление колебаний происходит в том случае, если разность хода лучей равна целому числу волн. Условие дифракции рентгеновских лучей выражается уравнением Вульфа – Брэггов (уравнение 2.1).

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

где d – межплоскостное расстояние, n – порядок отражения, λ и θ – данные эксперимента.

Уравнение Вульфа-Брэггов лежит в основе рентгеновских методов анализа. Выполнение условия уравнения при изменении угла падения рентгеновского излучения регистрируется возникновением максимума на дифрактограмме.

Преимуществами метода являются:

относительная простота метода;

высокая достоверность и экспрессность метода;

проведение исследования без разрушения препарата.

Рентгенофазовый анализ исходного сырья и обожженных образцов проводился на дифрактометре ДРОН-3М. Источником рентгеновского излучения была рентгеновская трубка с медным анодом (λ = 0,154056 нм). Съемка образцов велась со скоростью 4 °/мин.

Расшифровка дифрактограмм производилась путем сравнения рассчитанных межплоскостных расстояний образцов с эталонными значениями.

2.5 Растровая электронная микроскопия

Растровая электронная микроскопия (РЭМ) используется для получения увеличенных изображений объекта. Изображение формируется вследствие сканирования образца пучком электронов. При взаимодействии электронов с веществом возникают сигналы различной физической природы (отраженные и вторичные электроны, рентгеновское излучение), которые используются для формирования изображения исследуемого объекта. Так как изображение в РЭМ формируется в основном с помощью вторичных электронов, зона выходов которых ограничена малой областью вокруг места падения зонда, разрешающая способность РЭМ велика. Данный метод позволяет исследовать объекты с развитой поверхностью, обеспечивает большую резкость изображения.

Растровый электронный микроскоп состоит из системы электронной оптики, столика образцов, детекторы для регистрации вторичных электронов и дисплея для вывода изображения. Система электронной оптики представляет собой электронную пушку, генерирующую пучок электронов, линзы конденсатора и объектива, отклоняющую катушку для сканирования электронным пучком. Поток электронов регулируется с помощью линз конденсатора и объектива.

Морфология полученных образцов была исследована на электронном растровом микроскопе JEOL JSM 6000.

2.6 Дифференциальный термический анализ

Дифференциальный термический анализ (ДТА) – метод анализа, основанный на сравнении температуры образца с температурой эталонного вещества в процессе постепенного увеличения или уменьшения температуры. Если в системе не возникает термических эффектов, то температуры образца и эталона одинаковы и термо-ЭДС дифференциальной термопары равно нулю. Если протекание фазовых превращений или изменение структуры исследуемого вещества сопровождаются поглощением или выделением тепла, то между образцом и эталоном возникает разность температур, что регистрируется на термограмме в виде отклонения от прямой линии.

Установка для проведения термического анализа состоит из трубчатой электропечи, в рабочем пространстве которой располагаются тигли с образцом и эталоном. Каждый тигель опирается на горячий спай комбинированной дифференциальной термопары. Дифференциальная термопара представляет собой две термопары, соединенные таким образом, чтобы возникающие в ней термотоки были направлены навстречу друг другу.

ДТА является чувствительным методом. Для проведения корректного анализа необходимо учитывать следующие факторы, которые оказывают влияние на результат анализа:

различие удельной теплопроводности образца и эталона;

различие теплоемкости образца и эталона;

различие массы образца и эталона;

положение горячих спаев в тигле

форма и материал тиглей;

дисперсный состав вещества;

скорость нагрева.

Термический анализ исходных компонентов и шихты проводился на приборе NETZSCH STA 449 F3 Jupiter.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Г6А	Сагун Антон Игоревич

Школа	ИШНПТ	**Отделение школы**	**НОЦ им. Кижнера**
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	Химическая технология 18.03.01

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 %. (НК РФ)*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ конкурентных технических решений (НИ)*	*Анализ и оценка конкурентоспособности НИ. SWOT-анализ*
2. *Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)*	*Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.*
3. *Составление бюджета инженерного проекта (НИ)*	*Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда*
4. *Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)*	*Определение: интегрального финансового показателя; интегрального показателя ресурсоэффективности; интегрального показателя эффективности.*
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	
1. *Оценка конкурентоспособности НИ* 2. *Матрица SWOT* 3. *Диаграмма Ганта* 4. *Бюджет НИ* 5. *Основные показатели эффективности НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г6А	Сагун Антон Игоревич		

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – синтез диопсида и получение керамики на основе орско-халиловского серпентинита. В связи с тем, что месторождения диопсида распределены по территории России неравномерно, возрастает актуальность исследований по внедрению в производственный оборот местного минерального сырья.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались три варианта получения керамических изделий с кристаллической фазой диопсида.

Вариант 1 – Синтез диопсида из серпентинита;

Вариант 2 – Синтез диопсида из тремолита;

Вариант 3 – Использование Слюдянского диопсида.

Детальный анализ всех трех вариантов исполнения необходим, т.к. каждый тип исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	**Вес критерия**	**Баллы**			**Конкурентоспособность**		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Показатели оценки качества разработки							
Прочностные характеристики	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
Простота технологии производства	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
Уровень материалоемкости разработки	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
Безопасность	0,17	5	5	5	0,85	0,85	0,85
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки							
Цена	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
Перспективность рынка	0,16	4	4	4	0,64	0,64	0,64
Срок выхода на рынок	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
Близость производства к месторождениям	0,1	4	3	2	0,4	0,3	0,2
Итого	**1**	**35**	**30**	**28**	**4,42**	**3,91**	**3,71**

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot Б_i; \qquad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); $Б_i$ – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант №1 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения.

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

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны) S1. Техническая простота осуществления метода; S2. Высокие прочностные характеристики и кислотостойкость; S3. Большое количество недорогого сырья; S4. Керамика на основе диопсида не подвержена старению; S5. Внедрение технологии не требует покупки нового оборудования для уже существующих предприятий;	**Weaknesses (слабые стороны)** W1. Проект не прошел апробирования на предприятиях керамической промышленности; W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок
Opportunities (возможности) O1. Снижение затрат на производство путем расположения завода вблизи источника сырья; O2. Возможность производить большое количество востребованной продукции; O3. Внедрение технологии на уже существующих предприятиях; O4. Возможность использования относительно недорогого сырья вместо дефицитного;	O2O3O4S1S3S5 – выработать технологию получения конкретных изделий O4S1S2S3S4 – изучить влияние добавок на свойства керамики	O2O3O4W1 – произвести промышленное апробирование материала
Threats (угрозы) T1. Незаинтересованность внедрением новых технологий крупными компаниями; T2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта; T3. Финансовый кризис;	T1S1 – Относительно небольшие затраты на внедрение разработки	T1W1 – заинтересовать компании разработанной технологией T2W2W3 – разработать бизнес-план коммерциализации

Таблица 4.3 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5
O1	-	-	+	-	+
O2	+	+	+	+	+
O3	+	-	+	-	+
O4	+	0	+	-	-

Таблица 4.4 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3
O1	-	-	-
O2	-	-	-
O3	+	-	-
O4	-	-	-

Таблица 4.5 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5
T1	+	-	+	-	+
T2	+	-	+	-	+
T3	+	-	+	+	+

Таблица 4.6 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3
T1	+	+	-
T2	+	+	+
T3	-	-	+

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 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.

Для выполнения научных исследований 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 рыботы приведен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Порядок работ и распределение исполнителей.

Основные работы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор и направление исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер

Продолжение таблицы 4.7

Основные работы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, инженер
	6	Проведение экспериментов	Инженер
	7	Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка полученных результатов	Руководитель, инженер
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер
Изготовление и испытания опытных образцов	10	Получение опытных образцов	Инженер
	11	Лабораторные испытания опытных образцов	Руководитель, инженер
Оформление комплекта документации	12	Составление пояснительной записки	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется формула 1.1.

$$t_{\text{ож}\,i} = \frac{3t_{min\,i} + 2t_{max\,i}}{5}, \tag{4.2}$$

где $t_{\text{ож}\,i}$ – наиболее вероятное время, в течение которого должна быть выполнена работа, чел-дни;

$t_{min\,i}$ – минимальное время для выполнения определенного этапа при благоприятном стечении обстоятельств, чел-дни;

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы (формула 1.2) в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}\,i}}{\text{Ч}_i}, \tag{4.3}$$

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

$t_{\text{ож}\,i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы, чел-дни;

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

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма состоит из блоков, расположенных на двух осях: по вертикали располагаются задачи, из которых состоит проект, а время, запланированное на их выполнение, служит горизонтальной осью диаграммы Ганта. Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{\text{к}i.\text{рук}} = T_{\text{р}i} \cdot k_{\text{кал}}, \tag{4.4}$$

$$T_{\text{к}i.\text{инж}} = T_{\text{р}i} \cdot k_{\text{кал}}, \tag{4.5}$$

где $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \tag{4.6}$$

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.7)$$

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

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

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ представлен на примере работы «Составление и утверждение технического задания ан ВКР»:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 0{,}5 + 2 \cdot 2}{5} = 1.1 \text{ чел-дн}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} = \frac{1{,}1}{1} = 1{,}1 \text{ раб. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели для инженера:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{366}{366 - 128 - 14} = 1{,}63$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы на примере работы «Выбор направления исследования»:

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1{,}8 \cdot 1{,}63 = 3 \text{ кал.дн}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели руководителя:

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{366}{366 - 52 - 14} = 1{,}22$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы на примере работы «Составление технического задания»:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал} = 1{,}8 \cdot 1{,}22 = 2 \text{ кал.дн}$$

Все рассчитанные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Временные показатели научного исследования (обозначения: Р – руководитель, И – инженер).

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

Продолжение таблицы 4.8

Название работ	Трудоемкость работ			Исполнители	$T_р$, раб. дн.	T_k, кал. дн.
	t_{min}, чел-дн	t_{max}, чел-дн	$t_{ож}$, чел-дн			
	Исп.1	Исп. 1	Исп.1		Исп.1	Исп.1
Проведение экспериментов	7	12	9	И	9	15
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	4	3,6	Р	3,6	4
	2	4	3,6	И	3,6	5
Оценка полученных результатов	0,5	2	1,1	Р	1,1	1
	1	3	1,8	И	1,8	3
Приготовление опытных образцов	0,5	2	1,1	Р	1,1	1
	4	9	6	И	6	10
Испытание опытных образцов	1	3	1,8	Р	1,8	2
	2	4	3,6	И	3,6	6
Составление пояснительной записки	22	42	30	И	30	49

На основании полученных данных был построен ленточный график в виде диаграммы Ганта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

Вид работы	Исполнители	T_{k_i}, дней	Продолжительность выполнения работ										
			Февраль		Март			Апрель			Май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Составление технического задания	Руководитель	2											
Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	2											
Подбор и изучение материалов	Руководитель, инженер	5 7											
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер	1 2											
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	3											
Проведение экспериментов	Инженер	15											
Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Руководитель, инженер	4 5											

Вид работы	Исполнители	T_{k_i}, дней	Продолжительность выполнения работ										
			Февраль		Март			Апрель			Май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Оценка полученных результатов	Руководитель, инженер	1 3											
Приготовление опытных образцов	Руководитель, инженер	1 10											
Испытание опытных образцов	Руководитель, инженер	2 6											
Составление пояснительной записки	Инженер	49											

Руководитель

Студент

Рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей указанное в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	103
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	101
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	18

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей.

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле 1.5.

$$З_м = (1 + k_T) \sum_{i=1}^{m} \left(Ц_i N_{расх\,i} \right), \quad (4.8)$$

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

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

$Ц_i$ – цена приобретения единицы вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15 – 25 % от стоимости материалов. Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НИР представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Затраты на сырье на проведение исследований.

Наименование	Единица измерения	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу	Сумма, руб.
Серпентинит	кг	Тех	2	150	300
Мел МТД-2	кг	Тех	2	6	12
Песок кумакский	кг	Тех	2	200	400
Канцелярские товары	шт	-	1	400	400
Итого за материалы					1112
Транспортные расходы (20 %)					222
Итого					1334

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов. При выполнении научно-исследовательского проекта использовалось оборудование, указанное в таблице 4.12.

Расчет амортизации оборудования, использовавшегося в работе, представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет амортизации оборудования.

Наименование оборудования	Срок полезного использования	Цена за единицу оборудования, руб	H_a	A, руб
Весы аналитические Веста В153	10	15000	0,10	4
Печь муфельная ПМ-8	15	42300	0,07	74
Пресс гидравлический	20	15000	0,05	2
Установка JEOL JSM 6000	15	2500000	0,07	495
Установка ДРОН-3М	10	180000	0,1	100

Продолжение таблицы 4.12

Наименование оборудования	Срок полезного использования	Цена за единицу оборудования, руб	H_a	A, руб
Установка STA 449 F3 Jupiter	15	3000000	0,07	595
Печь камерная	10	70000	0,1	175
	Итого			1445

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \tag{4.9}$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A И}{12} \cdot m, \tag{4.10}$$

где $И$ – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для аналитических весов, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{10} = 0{,}1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений для весов аналитических находим следующим образом:

$$A = \frac{0{,}1 \cdot 15000}{12} \cdot 0.034 = 4.$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей НИП

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $З_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_р, \quad (4.11)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot M}{F_д} = \frac{48750 \cdot 10{,}4}{246} = 2060{,}9 \text{ руб.}$$

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

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – М=11,2 месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней – М=10,4 месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot M}{F_д} = \frac{19500 \cdot 11{,}2}{213} = 1025{,}4 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$З_м = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) k_р = 25000 \cdot (1 + 0{,}3 + 0{,}2) \cdot 1{,}3 = 48750 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_м = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_д) k_р = 10000 \cdot (1 + 0{,}3 + 0{,}2) \cdot 1{,}3 = 19500 \text{ руб.},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

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

$k_д$ – коэффициент доплат и надбавок, принимается равным 0,2;

$k_р$ – районный коэффициент, принимается равным1,3 (для г. Томска).

В таблице 4.13 приведен баланс рабочего времени каждого работника.

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.14

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители НИП	$З_{тс}$, руб	$k_{пр}$	$k_д$	$k_р$	$З_м$, руб	$З_{дн}$, руб	$T_р$, раб.дн.	$З_{осн}$, руб
Руководитель	25000	0,3	0,2	1,3	48750	2060,9	18	37096,2
Инженер	10000	0,3	0,2	1,3	19500	1025,4	101	103565,4
Итого:								140661,6

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей НИП

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0{,}15 \cdot 37096{,}2 = 5564{,}43 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0{,}15 \cdot 103565{,}4 = 15534{,}81 \text{ руб.},$$

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

4.3.5 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:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб}\left(З_{осн} + З_{доп}\right) = 0{,}3\left(37096{,}2 + 5564{,}43\right) = 12798{,}2 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб}\left(З_{осн} + З_{доп}\right) = 0{,}3\left(103565{,}4 + 15534{,}81\right) = 35730 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование).

Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя прочие затраты, такие как: печать и ксерокопирование документов, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и др.

Величина накладных расходов определяется по формуле 1.11.

$$З_{внеб} = k_{нр} \cdot \left(сумма\ статей\right), \qquad (4.12)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов $k_{нр}$ допускается взять в размере 20 %. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составят:

$$З_{внеб} = 213067 \cdot 0{,}2 = 42613{,}4 \text{ руб.}$$

Таблица 4.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Материальные затраты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления во внебюджетные фонды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
1334	1445	140661,6	21098,2	48528,2	213067	48886,1	293316,4

4.4 Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. Синтез диопсида и получение керамики с кристаллической фазой диопсида на основе тремолита.

2. Получение керамики на основе природного диопсида.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (4.13)$$

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

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

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

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{Ф_{p1}}{Ф_{\max}} = \frac{293316,4}{340000} = 0,86;$$

$$I_{финр}^{исп.2} = \frac{Ф_{p2}}{Ф_{\max}} = \frac{340000}{340000} = 1;$$

$$I_{финр}^{исп.3} = \frac{Ф_{p3}}{Ф_{\max}} = \frac{315000}{340000} = 0,93;$$

Полученная величина отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах, либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах.

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \qquad (4.14)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 4.16.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик объекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Исп. 2	Исп. 3
1. Сложность технологии	0,2	5	5	5
2. Прочностные характеристики	0,3	5	5	5
3. Диэлектрические свойства	0,2	4	3	4

Продолжение таблицы 4.16

4. Энергосбережение	0,15	4	2	3
5. Материалоемкость	0,15	5	4	4
Итого:	1	4,65	4	4,35

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad (4.15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 4.17). Сравнительная эффективность проекта ($Э_{ср}$):

$$Э_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (4.16)$$

Таблица 4.17 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,86	1	0,93
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	5,4	4	4,68
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,35	0,85	0,86

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор первого варианта решения, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 103 дня, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 101 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 18;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 293316,4 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,86, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 4 и 4,35;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,4, по сравнению с 4 и 4,68, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Сагун А.И. Синтез диопсида из серпентинитового сырья / А.И. Сагун // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова / ТПУ. – Томск, 2020. – в печати.
2. Сагун А.И. Фазообразование при синтезе диопсида из природного сырья / А.И. Сагун // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера / ТПУ. – Томск. – 2020. – в печати.