

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

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния модифицирующих добавок на свойства теплопроводящей керамики на основе нитрида алюминия, полученной по технологии искрового плазменного спекания

УДК 666.3.03-492.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко Александр Сергеевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжение промышленных предприятий	Завьялов Валерий Михайлович	д.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭПП

(Подпись) _____ (Дата) Завьялов В.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович

Тема работы:

Исследование влияния модифицирующих добавок на свойства теплопроводящей керамики на основе нитрида алюминия, полученной по технологии искрового плазменного спекания	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.16 г. №764/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.16 г.
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Входные параметры КМПУ для синтеза нитрид алюминиевого дисперсного порошка, литературные данные по спеканию нитрид алюминиевой керамики, коммерческий порошок AlN.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; режим получения модифицирующей добавки нитрид алюминия методом плазмодинамического синтеза; параметры искрового плазменного спекания для изготовления теплопроводящей керамики; улучшение теплофизических свойств керамики добавлением в нее модифицирующих добавок; экономический анализ проекта; исследование вредных и опасных факторов рабочего места; заключения по работе.

Перечень графического материала	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Грахова Е.А.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.
Иностранный язык	Матухин Д.Л.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Экспериментальная часть	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.09.14 г.
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент		17.09.14 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович		17.09.14 г.

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

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

Уровень образования – магистратура

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.16 г.
--	-------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.01.15	<i>Литературный обзор</i>	25
10.12.15	<i>Освоение технологий: плазмодинамического синтеза ультрадисперсного порошка нитрида алюминия, искового плазменного спекания керамики.</i>	35
20.05.16	<i>Аналитические исследования продукта прямого плазмодинамического синтеза в системе Al-N, исследование структурных, фазовых и теплофизических характеристик плотной керамики из нитрида алюминия с модифицирующими добавками. Обобщение данных. Написание работы.</i>	40

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроснабжения промышленных предприятий	Завьялов В.М.	д.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Приблизительная стоимость ресурсов научного исследования, в том числе научно-технического оборудования, составляет около 10 млн. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка календарного, производственного плана. Формирование бюджетного проекта. Разработка финансового плана.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Разработка инвестиционного плана, оценка рисков

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Экспертная оценка проекта без учета и с учетом коэффициента значимости
2. SWOT-анализ
3. Перечень работ
4. Сетевой график
5. Гистограмма бюджета по времени
6. Гистограмма трудовых ресурсов по времени
7. График Ганта
8. Бюджет проекта
9. Дерево рисков

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	1. <i>Описание рабочего места на предмет возникновения:</i> – Рабочая зона представляет собой помещение размером 9х6 метров, в котором расположены 6 персональных рабочих мест, оборудованных персональными компьютерами, а также рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD7000, система водяного охлаждения, приточно-вытяжная вентиляция. Работа на персональном месте проводится сидя. – Вредные факторы: Физические: уровень шума (монотонный), электро-магнитное излучение, ионизирующее излучение, освещение; Психофизические: перенапряжение анализаторов, монотонность труда. – Опасные факторы: Поражение электрическим током; Пожароопасность. – Чрезвычайные факторы: Стихийные: ураганы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке	1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Ионизирующее излучение; – Шум; – Электромагнитное излучение; – Освещение; – Психофизические факторы. 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – Электробезопасность. 3. Охрана окружающей среды: – Влияние на окружающую среду отсутствует. 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Пожар. 5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:
Перечень расч-го и граф-го материала	План помещения рабочей зоны

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский Анатолий Григорьевич	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM4E	Черевко Владимир Владимирович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 120 с., 42 рис., 24 табл., 40 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: Искровое плазменное спекание, плазмодинамический синтез ультрадисперсного порошка AlN, коммерческий порошок нитрида алюминия, теплопроводящая керамика.

Объектом исследования является порошковый материал нитрид алюминия и плотная модифицированная теплопроводящая керамика.

Цель работы – Исследование влияния модифицирующих добавок на свойства теплопроводящей керамики на основе нитрида алюминия, полученной по технологии искрового плазменного спекания.

В процессе исследования проводились эксперименты по плазмодинамическому синтезу ультрадисперсных порошков нитрида алюминия, проводились исследования режимов спекания нитридной керамики с введением различных модифицирующих добавок, проводились аналитические исследования и оценка теплопроводящих свойств.

В результате проведенных исследований установлено, что введение в состав микронного коммерческого порошка нитрида алюминия ультрадисперсной фракции, полученной по плазмодинамической технологии, в количестве не более 5 %, позволяет значительно повысить плотность получаемой керамики при одновременном снижении температуры спекания на 150-200 °С. Также установлено, что дополнительное введение до 5% добавки Y_2O_3 существенно поднимает уровень теплопроводности от 60 до 160 Вт/м К.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: в работе адаптирован плазмодинамический метод под синтез ультрадисперсного порошка нитрида алюминия – модифицирующей добавки, снижающей температуру спекания керамики и повышающей уровень физико-механических характеристик, отработаны режимы искрового плазменного спекания нитрид алюминиевой керамики с различными модифицирующими добавками, проведено исследование теплофизических характеристик керамики.

Область применения: благодаря высокой теплопроводности, в настоящее время наиболее перспективным диэлектрическим материалом для отвода тепла в изделиях космической техники и в приборостроении в целом является алюмонитридная керамика в виде подложек для керамических плат.

Экономическая эффективность/значимость работы. В разделе финансовый менеджмент представлены результаты расчета срока окупаемости, согласно которым получение теплопроводящей керамики методом искрового плазменного спекания является быстроокупаемым (4-5 лет) и высокодоходным.

В будущем планируется отработка получения оптимальной шихты с модифицирующими добавками обладающими повышенным уровнем теплопроводности.

Данная работа выполнена в рамках САЕ «Экоэнергетика».

Оглавление

Введение.....	10
1. Литературный обзор	12
2. Методики проведения экспериментов и исследований	16
2.1 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель	16
2.1.1 Устройство и принцип действия КМПУ	16
2.2 Подготовка порошкового материала	21
2.3 Установка по спеканию порошковых материалов SPS-10-4.....	23
2.4 Шлифование и полирование образцов	24
2.5 Определение плотности полученных образцов.....	26
2.6 Рентгеноструктурный анализ Shimadzu XRD 7000S.....	27
2.7 Микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) Hitachi TM3000.....	28
2.8 Измерение теплопроводности материалов.....	29
2.8.1 Работа с DLF-1	32
2.8.2 Проведение эксперимента на системе Discovery DLF-1.....	32
3. Экспериментальная часть.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Исследование фазовых и структурных характеристик коммерческих порошков AlN марки ТЧ1	Ошибка! Закладка не определена.
3.1.1 Исследование фазовых и структурных характеристик порошка нитрида алюминия, полученного по плазмодинамической технологии.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Спекание порошков	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.1 Синтез нитрид алюминиевой керамики из коммерческого порошка марки ТЧ1	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.2 Синтез нитрид алюминиевой керамики из порошка марки ТЧ1 с добавлением нанодисперсной фракции порошка AlN, полученного по плазмодинамической технологии	Ошибка! Закладка не определена.
3.2.3 Синтез нитрид алюминиевой керамики из порошка марки ТЧ1 с добавкой AlN, полученной по плазмодинамической технологии и дополнительным введением коммерческого порошка оксида иттрия	Ошибка! Закладка не определена.
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39

4.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	39
4.2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок.....	44
4.3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности ...	46
Заключение	53
5 Социальная ответственность	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.1 Ионизирующее рентгеновское излучение.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.2 Шум	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.3 Электромагнитное излучение	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.4 Освещение	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.5 Микроклимат.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1.6 Электробезопасность.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3 Экологическая безопасность работы ...	Ошибка! Закладка не определена.
5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях	Ошибка! Закладка не определена.
5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение по разделу	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.
Список публикаций студента.....	54
Список использованных источников	Ошибка! Закладка не определена.
Приложения	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение В	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

С увеличением мощности электронных компонентов, требующих эффективного рассеяния тепла, возникает необходимость разработки материалов с высокой теплопроводностью. Одним из таких материалов является нитрид алюминия. В настоящей работе представлены результаты разработки составов и технологии изготовления керамики из нитрида алюминия.

Теплопроводность кристаллических структур уменьшается с ростом атомного веса элемента. Имеется четыре признака идентификации кристаллов с высокой теплопроводностью: кристалл должен иметь низкий атомный вес, сильную связь между атомами, простую кристаллическую структуру, а также отсутствие дефектов кристаллической решётки и ангармонизма её колебаний.

Известно, что только несколько кристаллов попадают в эту категорию. Большинство кристаллов, обладающих высокой теплопроводностью, имеют алмазоподобную структуру. К этому числу относятся такие материалы, как алмаз, графит, карбид бора, нитрид бора, кремний, карбидкремния, оксид бериллия, нитрид алюминия, фосфид галлия и другие – всего 12 алмазоподобных структур. Причиной низкой теплопроводности спечённого поликристаллического нитрида алюминия является, главным образом, наличие в нём большого количества примесей и растворённого в решётке кислорода, что приводит к рассеянию фононов. Способствовать повышению теплопроводности спечённого нитрида алюминия можно за счёт введения в качестве активирующих спекание и раскисляющих добавок фтористых соединений редкоземельных металлов, углерода или активных металлов. Однако эти методы решения задачи повышения теплопроводности приводят к ухудшению диэлектрических свойств, снижению удельного электросопротивления и важных эксплуатационных характеристик изделий из нитрида алюминия; они недостаточно технологичны, неэкономичны и не позволяют получать высокую теплопроводность керамики.

Кроме того, введение в исходную смесь различных добавок повышает токсичность газообразных выбросов, создаёт сложности в работе печей из-за коррозионного воздействия фторидов, приводит к увеличению стоимости нитрида алюминия.

Таким образом, создание технологичного и экономичного метода получения керамики на основе нитрида алюминия с высокой теплопроводностью возможно при использовании порошка с минимальным уровнем примесей и минимальным количеством активирующих спекание добавок. Это обеспечит высокую плотность и теплопроводность керамики на основе нитрида алюминия.

Целью данной работы является разработка технологии изготовления теплопроводящих подложек из нитрид алюминиевого порошка с высокими теплофизическими и электротехническими характеристиками.

1. Литературный обзор

Анализ литературных данных [1-4] показал, что проблемы спекания плотных материалов из нитрида алюминия связаны, с одной стороны, с ковалентным характером связи Al–N [12], что определяет необходимость высоких температур спекания, а с другой – с наличием в исходных порошках примеси кислорода, который при спекании внедряется в решётку нитрида алюминия, создавая вакансии алюминия, на которых и происходит рассеяние фононов, т.е. снижается теплопроводность материала. Для решения этой проблемы авторы данной работы [1-4] использовали спекающую добавку Y_2O_3 от 1 до 5% мас. При взаимодействии Y_2O_3 [11] с находящимся на поверхности частиц нитрида Al_2O_3 происходит образование жидкой фазы (рисунок 1), интенсифицирующей спекание при $1760^{\circ}C$, а очистка решётки нитрида алюминия от кислорода (чем и достигается высокая теплопроводность материала) происходит при $1800^{\circ}C$. При этом образуется алюмоиттриевый гранат, который высаживается на поверхности зёрен. Большое влияние на теплофизические свойства алюмонитридной керамики оказывает метод формообразования образцов. В данной работе [1-4] авторы рассматривали два метода формообразования: прессование и литьё. Метод прессования показал неравномерную плотность, низкие электро- и теплофизические характеристики образцов, а также низкую производительность и большие затраты при изготовлении подложек размером до 200×200 мм, поэтому для дальнейшего проведения экспериментальных работ использовался метод литья на плёнку.

С этой целью были исследованы порошки AlN и Y_2O_3 фирм Starck (Германия), Tokuyama Soda (Япония), EnoMaterial (Китай) и Российского института структурной макрокинетики и проблем материаловедения ИСМиПМ (г. Черноголовка, Московская обл.). Порошки исследовались методами элементного (EDS), рентгенофазового (XRD) и термического анализа, измерялась удельная поверхность методом БЭТ. Лучшими характеристиками и кристаллической структурой обладают порошки производства Starck и

Tokuyama Soda, близким к ним по составу и свойствам является порошок, изготавливаемый в ИСМиПМ. Для проведения экспериментальных работ выбраны порошки нитрида алюминия, изготовленные в ИСМиПМ, и в качестве спекающей добавки – оксид иттрия фирмы Starck.

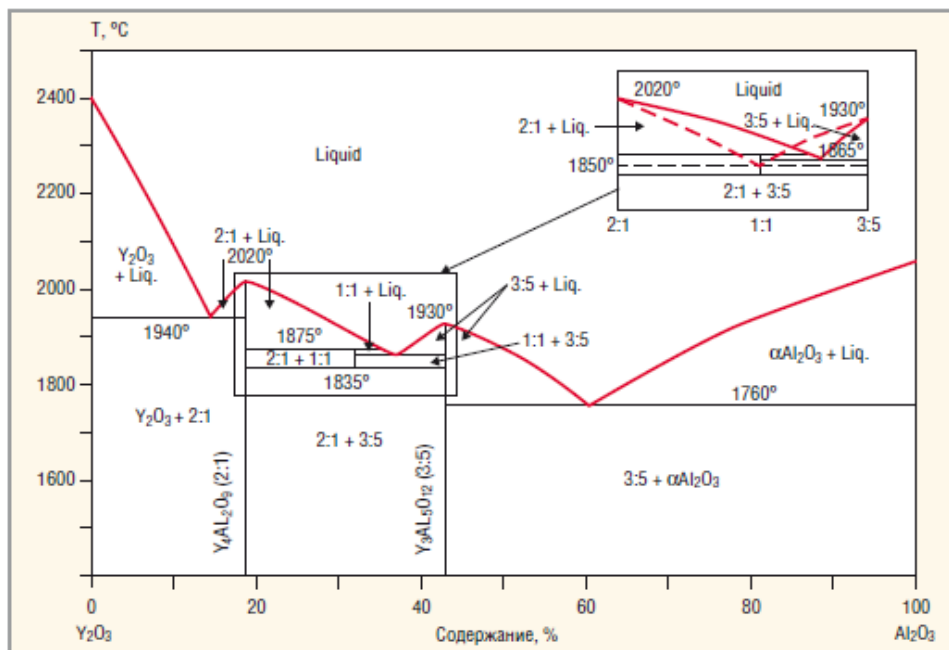


Рисунок 1.1 Диаграмма состояния двухфазной системы Y_2O_3 – Al_2O_3

Эксперимент проводился по следующей технологической схеме:

- подготовка сырья;
- приготовление шликера;
- изготовление сырых образцов;
- термическое удаление пластификатора;
- спекание образцов;
- мехобработка полученных подложек.

Для изготовления экспериментальных образцов исходные сухие компоненты измельчались и перемешивались на планетарной мельнице АПФЗ. Далее сухая масса AlN и Y_2O_3 перемешивалась с растворителем, диспергатором, пластификатором, связкой и пеногасителем в шаровой мельнице и вакуумировалась, полученный шликер отливался на лабораторной установке литья КЕКО (рисисунок 1.2) лентами толщиной от 0,3 до 1,0 мм и шириной 215мм, сушили при 30°C в течение 2 ч и резали на заготовки.



Рисунок 1.2 Установка литья подложек на плёнку фирмы КЕКО (Словения)

Предварительный обжиг для удаления связки проводился в среде водорода при 500°C , а окончательный обжиг – в среде азота по специальному графику с выдержкой образцов в течение 5 ч при температуре 1850°C (рисунок 1.3).

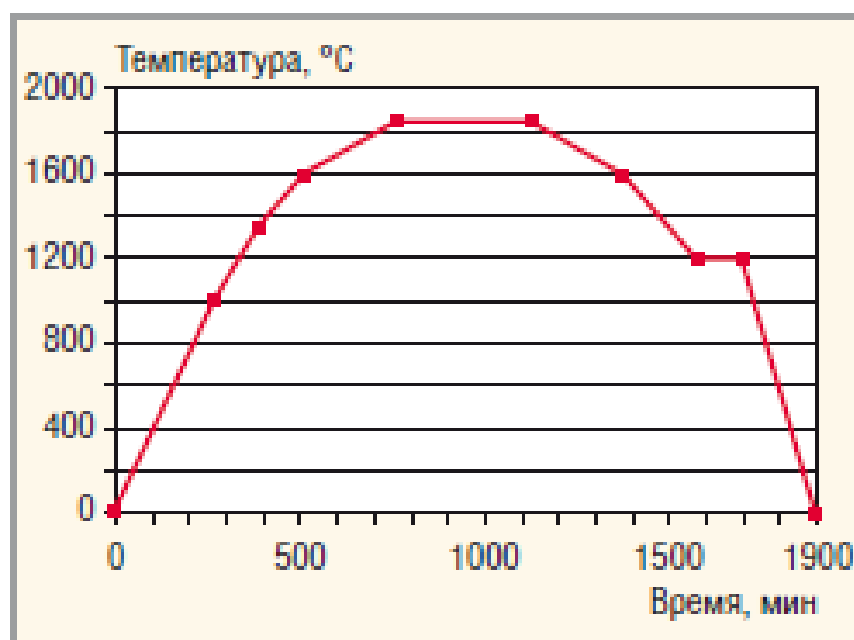


Рисунок 1.3 Режим обжига алюмонитридной керамики

У полученных образцов измерялись электрофизические параметры и теплопроводность. Результаты измерений коэффициента теплопроводности представлены на графике (рисунок 1.4).

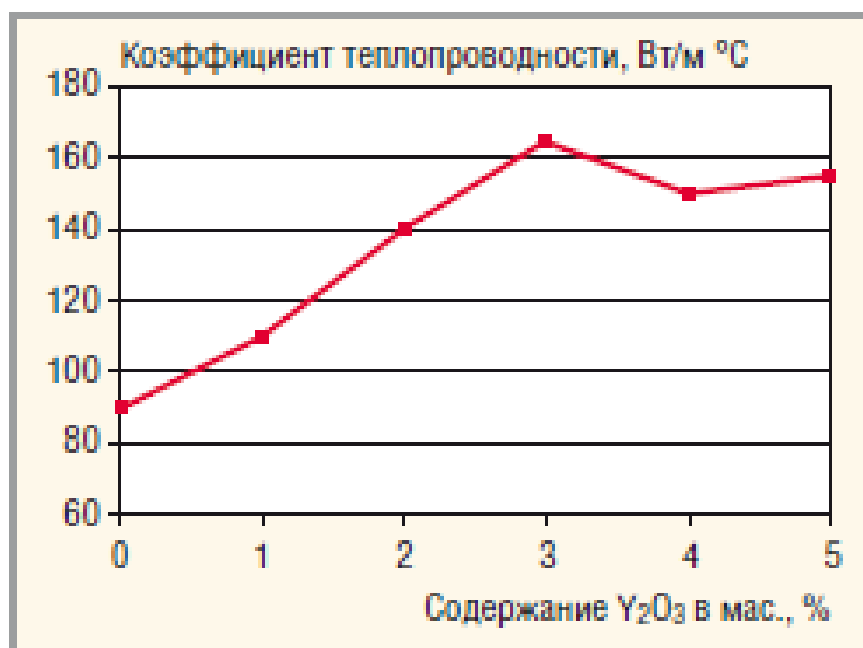


Рисунок 1.4 Зависимость коэффициента теплопроводности от количества Y_2O_3 спекающей добавки.

2. Методики проведения экспериментов и исследований

Согласно проведенному литературному обзору при изготовлении теплопроводящей нитрид алюминиевой керамики в основном используют крупно дисперсные порошки нитрид алюминия, полученной по технологии высокотемпературного синтеза СВС. Основной проблемой при спекании таких порошков является достаточно высокая пористость (более 10%) и низкие значения теплопроводности (не более 40Вт/м·К). Одним из вариантов решения данной проблемы является введение нанодисперсной добавки основной фазы (нитрид алюминия) полученной по технологии плазмодинамического синтеза.

2.1 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель

Методика плазмодинамического синтеза и получения нанодисперсного нитрида алюминия положено использование импульсного высоковольтного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) с алюминиевыми электродами эрозионного типа [5-8]. Емкостной накопитель энергии используется в качестве источника питания для ускорителя. Параметры накопителя были выбраны следующие: величиной емкости $C=28,8$ мФ и зарядным напряжением $U_{ЗАР} \leq 5,0$ кВ.

2.1.1 Устройство и принцип действия КМПУ

Принципиальная схема, устройство и принцип действия КМПУ с алюминиевыми электродами показаны на рисунке 2.1. Ускоритель состоит из двух основных узлов: сменного узла – классического Z-пинч-ускорителя и стационарного узла – мощной индукционной системы. Конструкция Z-пинч-ускорителя, используемая в настоящей работе, и ее элементы показаны на рисунке 2.2. Он состоит из центрального электрода 1 со стеклопластиковым изолятором 2. Составной изолятор имеет канал формирования плазменной структуры 3 у вершины алюминиевого наконечника электрода. Центральный электрод выполняется либо полностью из алюминия, либо делается составным со стальным хвостовиком и алюминиевым наконечником. Электрод-ствол 4

выполнен из отрезка алюминиевой трубы с внутренним отверстием – ускорительным каналом (УК) диаметром до 21 мм и диаметром стенки 2,0 мм. Длина УК в большинстве экспериментов составляла $l_{\text{УК}}=210$ мм в соответствии с данными работы [8]. Одним концом ствол плотно вставляется в стальную цилиндрическую обойму 5 с резьбой на внешней цилиндрической поверхности с целью обеспечения надежного электрического контакта и соединения с корпусом 6 узла центрального электрода.

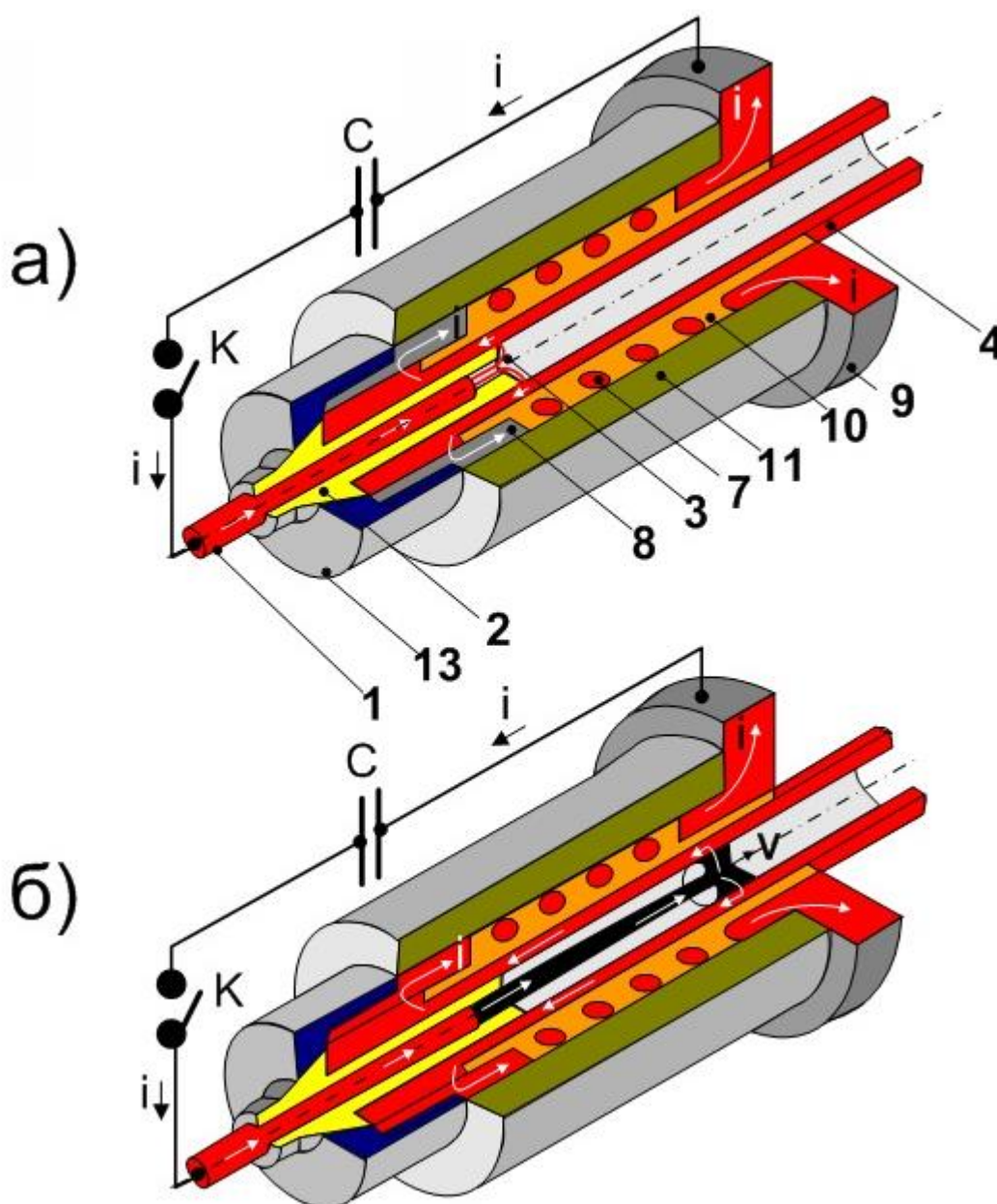
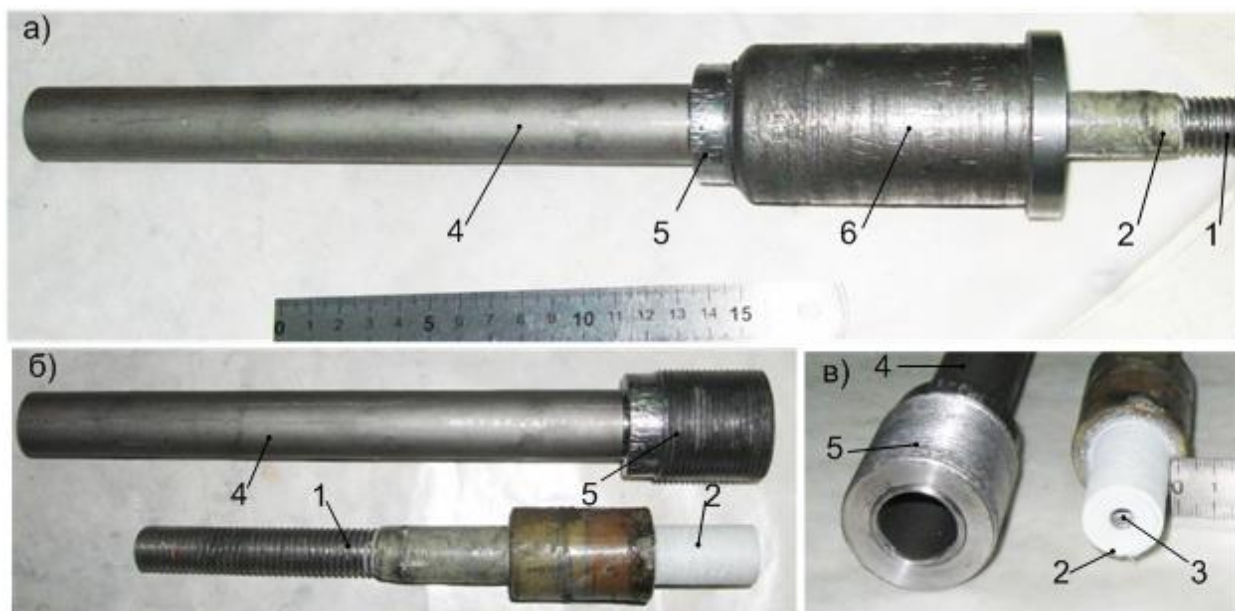


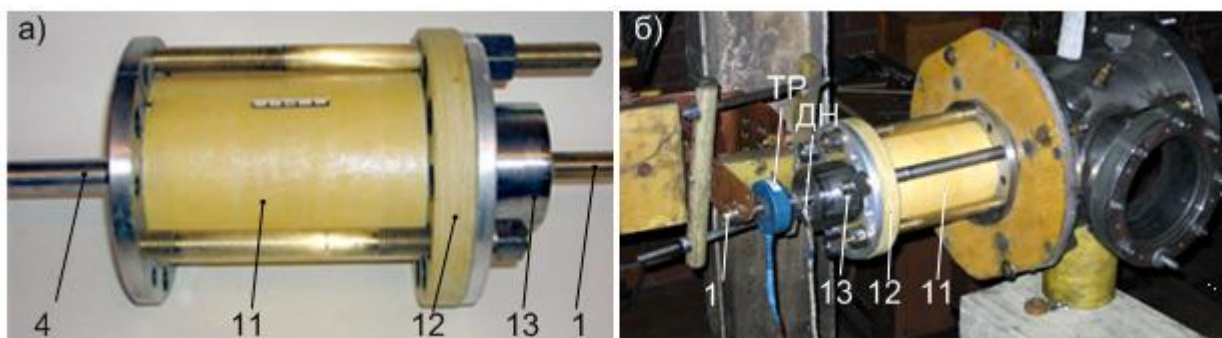
Рисунок 2.1 - Схема, устройство и принцип действия коаксиального магнитоплазменного ускорителя: а) исходное состояние, б) работа ускорителя

Изолированный наконечник центрального электрода плотно вставляется в ускорительный канал, охваченный стальной обоймой 5, и герметизируется (прокладкой и герметиком). Сборка фиксируется стальным корпусом 6 посредством резьбового соединения с обоймой. Индукционная система представляет собой мощный 4х витковый соленоид 7, выполненный за одно целое из металлической заготовки с контактным цилиндром 8 и контактным фланцем 9 с целью исключения контактных соединений в сильноточной цепи. Электродинамическая устойчивость, механическая прочность и межвитковая изоляция индуктора обеспечивается сборкой и заливкой эпоксидным компаундом 10 в прочном стеклопластиковом корпусе 11.



а) Пинч-узел в сборе, б) Электрод ствол и центральный электрод, в) Стальная обойма, установленная на электроде-стволе, и канал формирования плазменной структуры

Рисунок 2.2 – Z-пинч–узел



а) Вид сбоку на общую компоновку, б) Вид в рабочем положении

Рисунок 2.3 - КМПУ в собранном виде

Прочность в осевом направлении обеспечивается симметрично расположенными стальными шпильками диаметром 20 мм, стягивающими контактный фланец 12 с другой стороны. Собранный Z-пинч-ускоритель устанавливается в контактный цилиндр индуктора, как показано на рисунке 2.3а, и прочно закрепляется посредством резьбового соединения заглушки 13 с контактным цилиндром индуктора. Таким образом, основная часть УК оказывается расположенной по оси соленоида.

В исходном состоянии вершина центрального электрода 1 и металлическая поверхность УК в начале ствола-электрода 4 соединены электрически разрушаемой перемычкой, выполненной путем графитизации поверхности КФПС и торца стеклопластикового электрода.

КМПУ в собранном виде закрепляется на стеклопластиковой крышке с герметизацией ввода ствола в камеру-реактор (КР). Это позволяет проводить плазменные выстрелы при подводимой энергии более 200 кДж и давлении газа в КР от 0,1 атм. до 5,0 атм. Выводы электродов КМПУ, как показано на рисунке 2.2б, присоединяются медными шинами к коллектору силового контура ЕНЭ.

Емкостной накопитель заряжается до требуемой величины напряжения УЗАР. При замыкании ключа К (рисунок 2.1) (управляемые разрядники) по обозначенному стрелками контуру начинает протекать ток разряда конденсаторной батареи на индуктивную нагрузку. Этот момент $t=0$ соответствует началу развертки на осциллограммах напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$, представленных на рисунке 2.4. Регистрация энергетических параметров $u(t)$ и $i(t)$, осуществлялась с помощью активного делителя напряжения (ДН, рисунок 2.3б) и трансформатора Роговского (ТР, рисунок 2.3б), сигналы с которых записывались с помощью цифровых осциллографов Tektronix. По осциллограммам строилась кривая мощности разряда, интегрированием которой определялась величина подведенной энергии к КМПУ W .

Примерно через 20 мкс происходит разрушение указанной перемычки, сопровождающееся возникновением дуговой стадии разряда, характеризующейся резким снижением сопротивления и напряжения на

электродах и синусоидальным нарастанием тока с высокой di/dt до максимума I_M . При этом в УК формируется плазменная структура сильноточного разряда типа Z-пинч с круговой плазменной перемычкой, которая ускоряется в коаксиальной системе, типа коаксиального рельсотрона. Роль центральной направляющей играет самоудлиняющийся плазменный шнур пинчующегося разряда. Преобразование электромагнитной энергии в кинетическую энергию плазмы обеспечивается одновременно действующими механизмами: электродинамическим (кондукционным и индукционным), и электротермическим [9].

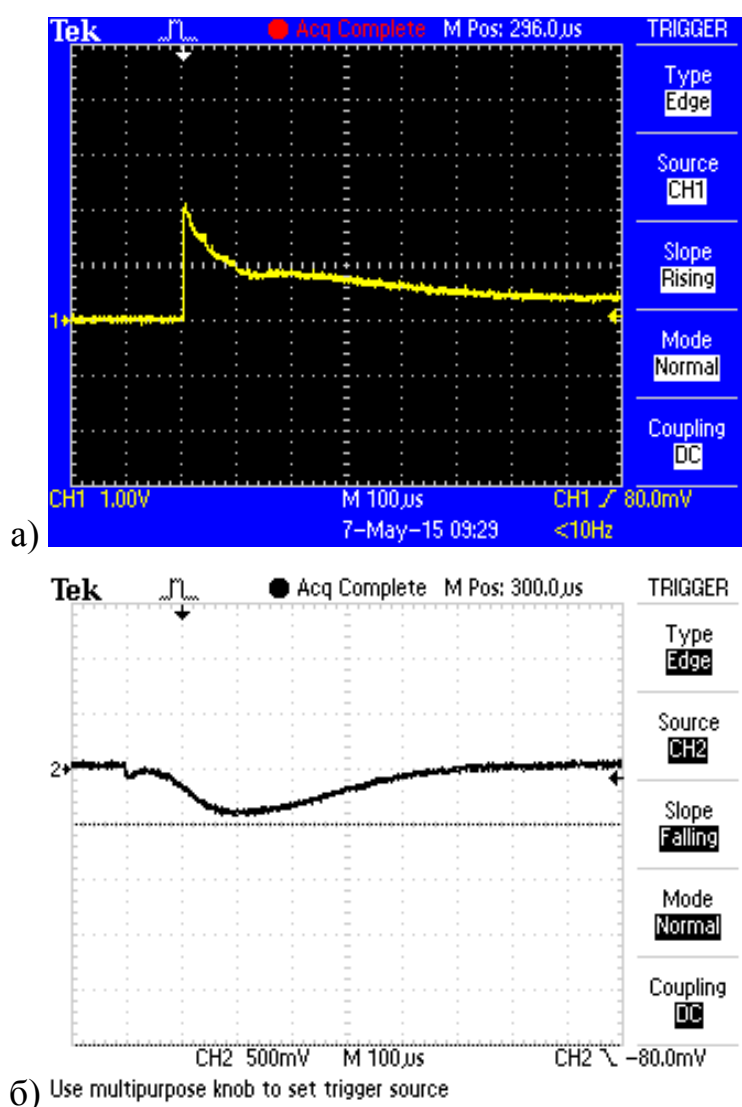


Рисунок 2.4 – Осциллограммы разрядного а) тока и б) напряжения, зафиксированные при работе КМПУ

Параллельно с ускорением плазмы происходит электроэрозионный износ поверхности УК за счет высокой температуры в зонах привязки или замыкания дуги по всей поверхности УК. Расплав металла ствола поступает в токовую оболочку разряда, переходит в плазменное состояние и ускоряется в виде струи электроэрозионной плазмы до скоростей в несколько км/с при токах разряда порядка 105 А. Нарботанный материал, в частности, алюминий, является прекурсором процесса синтеза.

Истечение плазменной гиперзвуковой струи алюминий-содержащей плазмы происходит в герметичный объем камеры-реактора (рисунок 2.3б), заполненный газообразным азотом при комнатной температуре и давлении 1,0 атм. Газ является вторым прекурсором плазмодинамического синтеза нитрида алюминия, который протекает в скачке уплотнения головной ударной волны сверхзвуковой плазменной струи. С его свободной поверхности происходит распыление жидкой фазы синтезированного AlN и формирование кристаллических ультрадисперсных частиц. Размер кристаллитов определяется условиями охлаждения и закалки материала, а именно начальной температурой и плотностью среды и скоростью плазменной струи в свободном пространстве. Естественно, в импульсной системе эти параметры изменяются в очень широком диапазоне, т.е. снижаются на хвостовой части импульса мощности, что и является основной причиной получения ультрадисперсных порошков с достаточно широким распределением частиц по размерам, от нанометров до микрометров.

2.2 Подготовка порошкового материала

Для подготовки к процессу спекания предварительно необходимо подготовить порошковый материал. Поскольку образцы порошка находятся и хранятся в атмосфере воздуха, то предварительно перед работой необходимо произвести их отжиг с целью удаления адсорбированной влаги. Для этого порошок помещался в керамический тигель из корунда, который далее

располагался электропечи фирмы Nabertherm (см. рисунок 2.5а.) отжиг проводился согласно режиму, представленному на рисунке 2.5б

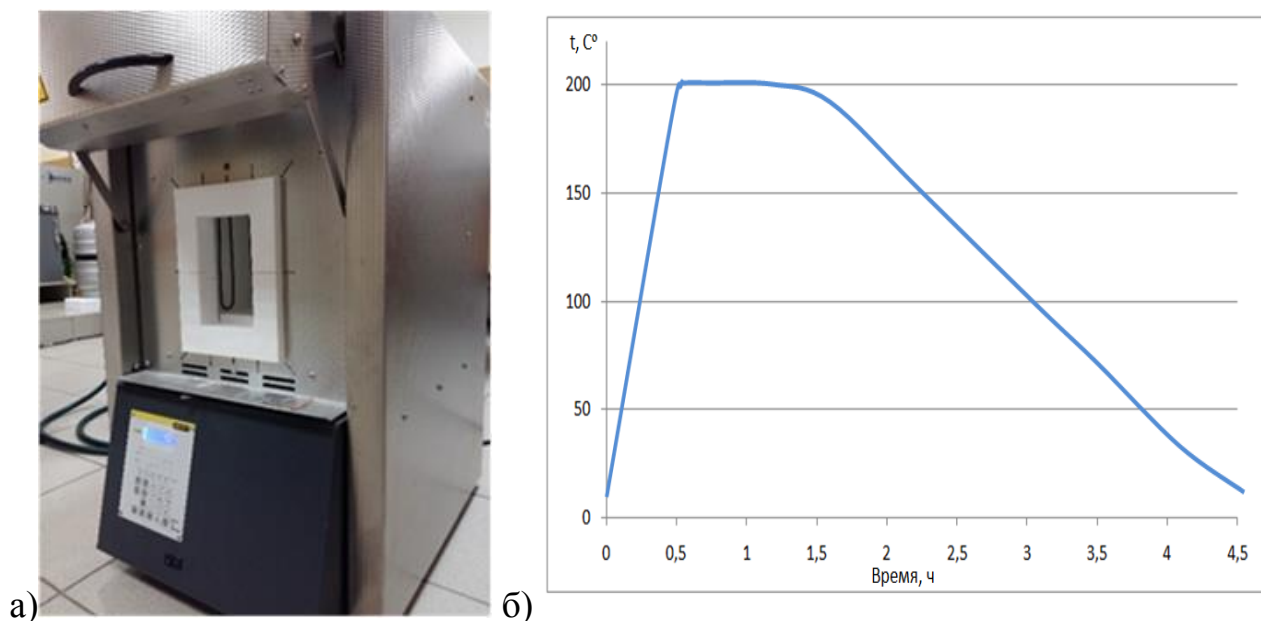


Рисунок 2.5 а) электропечи фирмы Nabertherm, б) режим отжига порошковых материалов

Для формирования порошковых материалов с необходимым содержанием модифицирующих добавок отожженные порошки смешивались в шаровой мельнице фирмы SPEX SamplePrep (см. рисунок 2.6). На основании литературного обзора, а так же нашего практического опыта было принято решение о добавлении модифицирующих добавок в основной состав в размере 5 весовых процентов.



Рисунок 2.6 а) тигл б) мельница фирмы SPEX SamplePrep

Все порошки были подвергнуты процедуре помола и гомогенизации в течении 20 минут в корундовом тигле. В качестве мелящего тела использовался один корундовый шар диаметром 12,7 мм рисунок 2.6а. По истечению времени

порошок вынимался из мельницы, из которого в дальнейшем формировались навески для спекания.

2.3 Установка по спеканию порошковых материалов SPS-10-4

Установка по спеканию порошковых материалов SPS-10-4 (далее SPS-установка) относится к прессам горячего прессования порошковых материалов [10]. Она может быть использована для изготовления образцов (от металлов до тугоплавких керамических композитов) методом спекания под давлением порошка. Общий вид установки с основными узлами представлен на рис. 2.7.

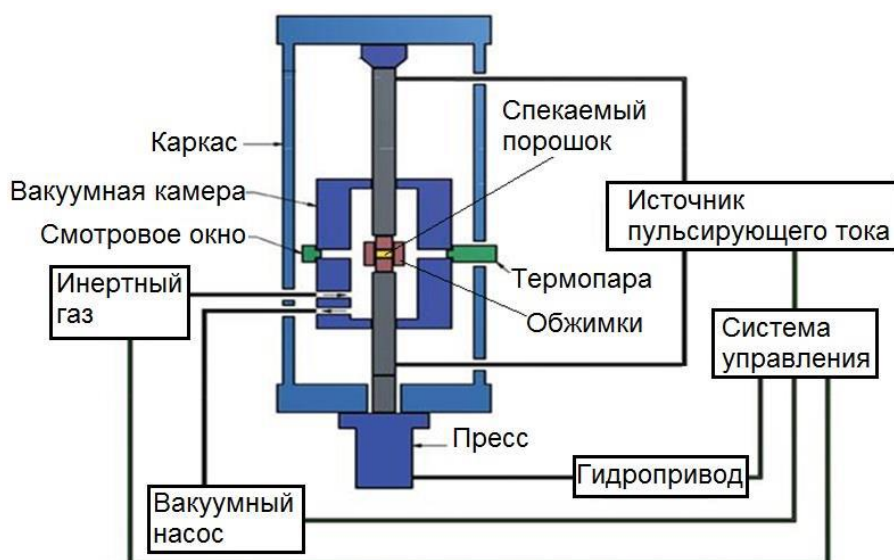


Рисунок 2.7 Принципиальная схема установки искрового плазменного спекания [14]

Порядок работы следующий - порошковую засыпку помещают в графитовую пресс-форму и прикладывают заданное давление к прессующим пуансонам.

Затем, образец нагревают до заранее заданной температуры в рабочей камере в среде инертного газа или вакуума. Температура в камере приближается к конечной температуре с определенной скоростью нагревания. Процесс контролируется по датчикам силы тока (А), напряжения на электродах (В), остаточного давления в рабочей камере (Па), перемещения прессующих пуансонов (мм), усилия прессования (кН), температуры (°С) [15].

SPS-установка позволяет выполнять измерения в температурном интервале от комнатной температуры до 2200 °С в динамической атмосфере и в

условиях вакуума. Усилие прессования – 5-100 кН.

Программирование измерения и управление им производится компьютерной системой, которая также записывает и сохраняет измеренные сигналы с датчиков управления процессом. Результаты измерений можно просматривать на экране или распечатывать на принтер.

Оборудование SPS-10-4 состоит из следующих частей рисунок 2.8:

- 1) измерительная установка;
- 2) система откачки;
- 3) гидравлическая система;
- 4) механическая система открытия камеры;
- 5) шкаф управления;
- 6) компьютерная система контроля



Рисунок 2.8 Установка по спеканию порошковых материалов SPS-10-4

2.4 Шлифование и полирование образцов

Шлифование и полирование образцов осуществляется с помощью настольного шлифовально-полировочного станка фирмы FORCIPOЛ (см. рисунок 2.9). Станки серии FORCIPOЛ- практичное и экономичное решение для

подготовки металлографических образцов.

- Обеспечивают высококачественные результаты при безотказной ежедневной работе
- Одно- и двухдисковые модификации (диам. диска 200/250/300 мм)
- Регулируемая скорость вращения (50-600 об/мин)
- Цифровой дисплей для выбора параметров шлифования
- Автоматическая головка FORCIMATE® - одновременная подготовка до 6 образцов
- Широкий выбор держателей образцов для удобства работы оператора



Рисунок 2.9 Шлифовально-полировочный станок фирмы FORCIPOL

Станки серии FORCIPOL обеспечивают максимальную легкость и удобство при подготовке проб металлографических образцов. Скорость вращения диска устанавливается индивидуально для каждого этапа пробоподготовки. Кнопки программирования времени цикла, выбора скорости и направления вращения, включения/выключения воды и двигателя станка расположены на передней панели. Параметры отображаются на цифровом

дисплее. Станки оснащены подводом воды с контрольными клапанами и сливной системой для стадии шлифования. Подача суспензий или смазочных жидкостей на стадии полирования проводится с помощью специального дозатора. Для повышения безопасности работы оператора предусмотрен дополнительный защитный экран (брызгоотбойник) из плексиглаза.

2.5 Определение плотности полученных образцов

После шлифования/полирования полученных керамических образцов проводились измерения их плотности методом гидростатического взвешивания [16] (см. рисунок 2.10).

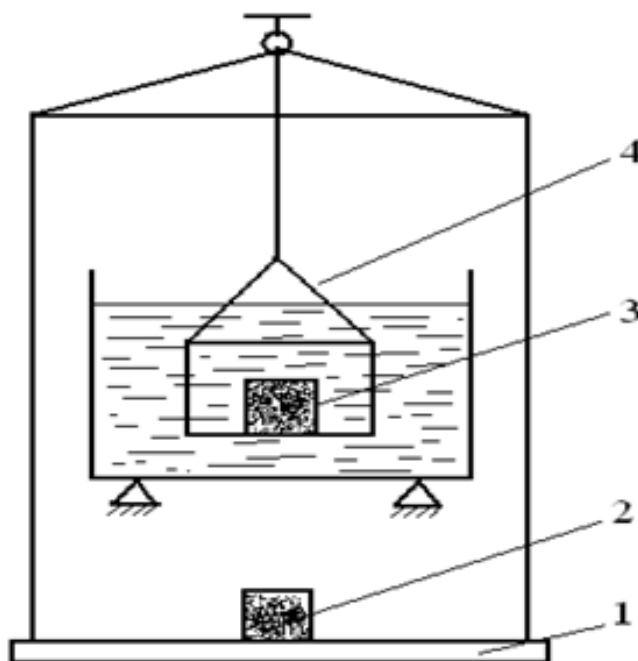


Рисунок 2.10 Схема приспособления для гидростатического взвешивания: 1—чашка весов; 2—образец, взвешиваемый на воздухе; 3—образец, взвешиваемый в жидкости; 4—корзинка

Гидростатическое взвешивание необходимо для определения плотности образца. Определять можно плотность как твердых, так и жидких веществ. В основе метода лежит закон Архимеда: вначале определяется масса образца в воздухе, затем – в жидкости известной плотности (чаще всего дистиллированная вода), и по формуле, приведенной ниже, рассчитывается плотность.

$$\rho = m_1(\rho_1 - \rho_2)/m_1 - m_2 + \rho_2,$$

где, ρ – плотность образца, ρ_1 – плотность рабочей жидкости, ρ_2 –

плотность воздуха, m_1 – масса образца в воздухе, m_2 – масса образца в рабочей жидкости.

Приведенная формула справедлива для определения плотности твердых образцов.

2.6 Рентгеноструктурный анализ Shimadzu XRD 7000S

Анализ фазовых и структурных характеристики порошковых материалов и керамики проводился с использованием рентгеновской дифрактометрии. Принцип рентгеновской дифракции заключается в следующем: в рентгеновском дифрактометре рентгеновские лучи, испускаемые рентгеновской трубкой, ограничиваются отклоняющей щелью и попадают на образец, помещенный в центр гониометра. Рентгеновские лучи, дифрагированные на образце, сходятся на приемной щели, расположенной симметрично рентгеновской трубке со стороны образца. Эти лучи регистрируются сцинтиляционным детектором и преобразуются в электрические сигналы. Сигналы со сцинтиляционного детектора, после фильтрации шумов, подсчитываются анализатором высоты импульсов (РНА). Интенсивность рентгеновского излучения выражается величиной подсчитанных импульсов. Расстояние между плоскостями атомов, где происходит дифракция рентгеновских лучей, может быть получено, используя Условие Брэгга, приведенное ниже:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda,$$

где θ - угол отражения дифрагированного рентгеновского излучения, λ - длина волны рентгеновского излучения.

Расстояние между атомами регулярно варьируется в зависимости от вида атома или иона. Поэтому, если известно расстояние между плоскостями атомов, вы можете установить состав образца. Поскольку интенсивность дифрагированного рентгеновского излучения пропорциональна количеству компонента, становится возможно проведение количественного анализа (см. рисунок 2.11).

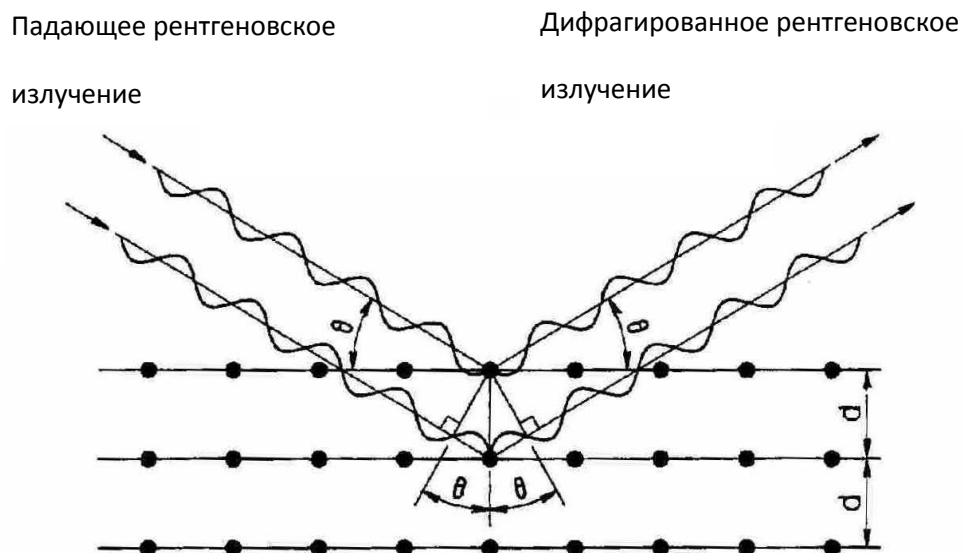


Рисунок 2.11 Дифракция рентгеновских лучей в кристалле

2.7 Микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия (SEM) Hitachi TM3000

Визуальная оценка морфологии порошковых материалов, построение гистограммы распределения частиц по размерам и среднего размера частиц в керамики осуществлялась с использованием сканирующей электронной микроскопией (SEM) на микроскопе HITACHI TM3000 [13]. Основные параметры микроскопа:

- Ускоряющее напряжение: 5 или 15 кВ, вольфрамовый катод.
- Увеличение: x15 - x30000.
- Разрешение: 30 нм.

HITACHI TM3000 является специализированным SEM, которая для построения изображений использует обратно отраженные электроны. На рисунке 2.12 представлен общий вид установки.

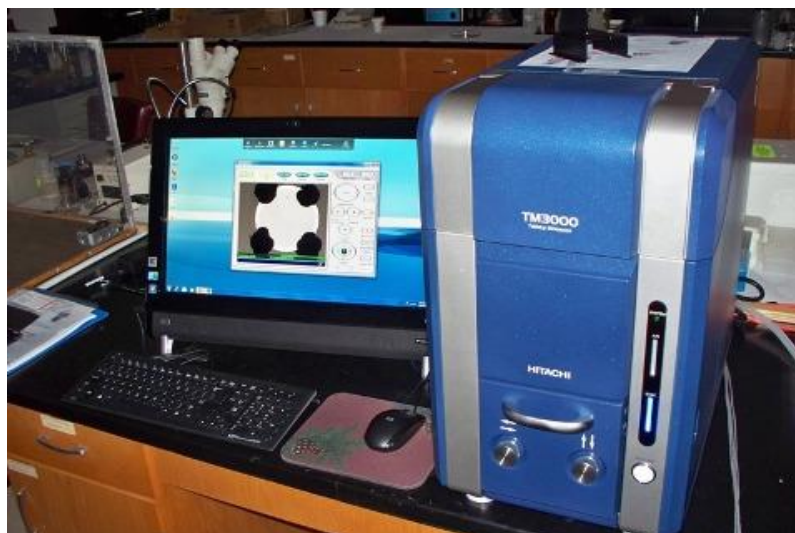


Рисунок 2.12 Сканирующая электронная микроскопия (SEM) Hitachi TM3000

2.8 Измерение теплопроводности материалов

Температуропроводность (а) – это теплофизическая характеристика вещества, определяемая, как отношение теплопроводности к объемной теплоемкости. В системе единиц СИ она имеет размерность $\text{см}^2/\text{с}$. Наиболее популярным методом измерения температуропроводности является метод лазерной вспышки (лазерного импульса). Его преимуществом является возможность быстрого измерения параметра с высокой точностью и воспроизводимостью. Метод лазерной вспышки для измерения температуропроводности предполагает однородную засветку передней поверхности небольшого дискообразного образца коротким импульсом энергии (излучения). Динамика роста температуры задней поверхности записывается по данным высокоскоростного твердотельного оптического датчика с очень быстрым тепловым откликом, а значение температуропроводности определяется по временной термограмме задней поверхности. Теплопроводность можно рассчитать, как произведение температуропроводности, удельной теплоемкости и плотности вещества. В данной работе применялась система Discovery Laser Flash (DLF-1) - лазерный анализатор температуропроводности [18-23].

Система DLF-1 состоит из модуля импульсного лазерного излучателя DLF-1, модуля термостата, узла ИК детектора и соответствующего программного обеспечения (ПО). Внешний вид системы DLF-1 с модулем EM-

1200 представлен ниже на рисунке 2.13.

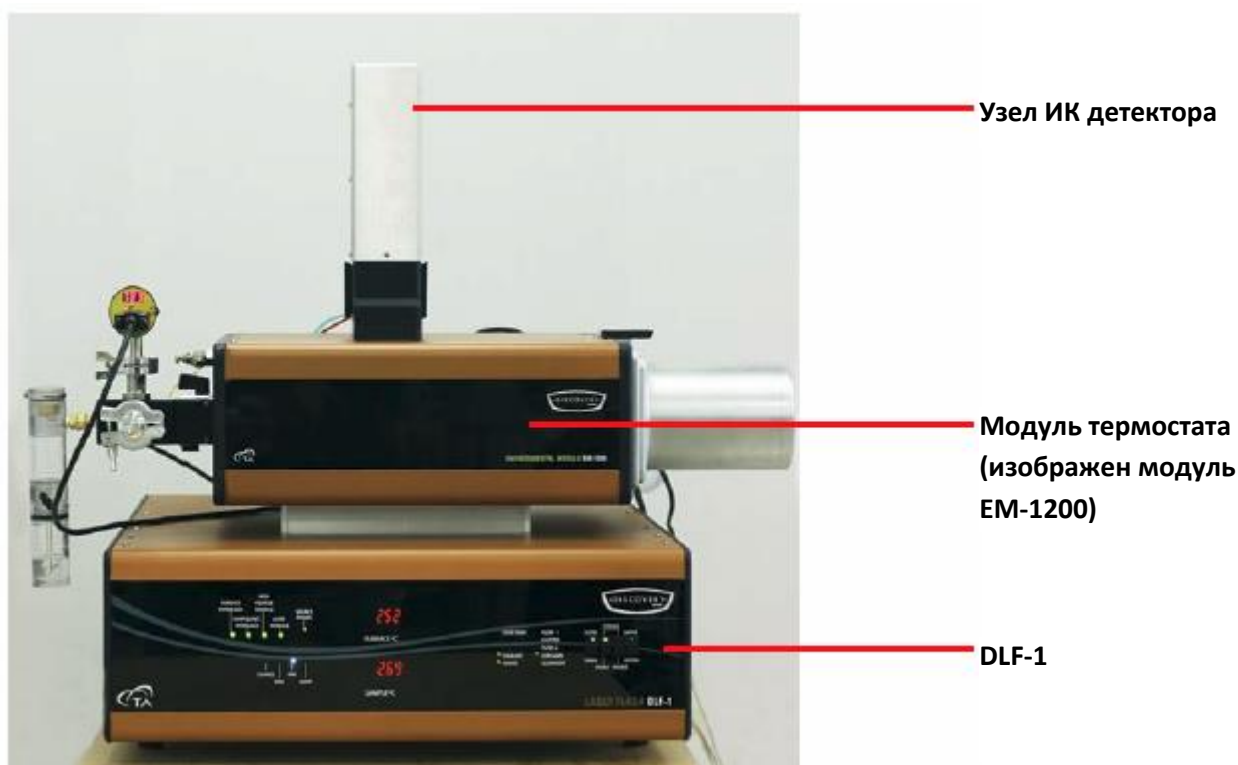


Рисунок 2.13 Система DLF-1 с модулем EM-1200 и узлом ИК детектора.

Контроллером системы является компьютер, который выполняет следующие функции:

- Обеспечивает интерфейс между оператором и аналитическим прибором.
- Позволяет задать условия проведения эксперимента и ввести необходимую информацию
- Осуществляет хранение экспериментальных данных.
- Позволяет проводить анализ результатов эксперимента.

Компоненты системы DLF-1

Система DLF-1 имеет три основных компонента: Встроенный импульсный лазерный излучатель DLF-1, модуль термостата с узлом ИК детектора и контроллер (компьютер).

Модуль импульсного лазерного излучателя

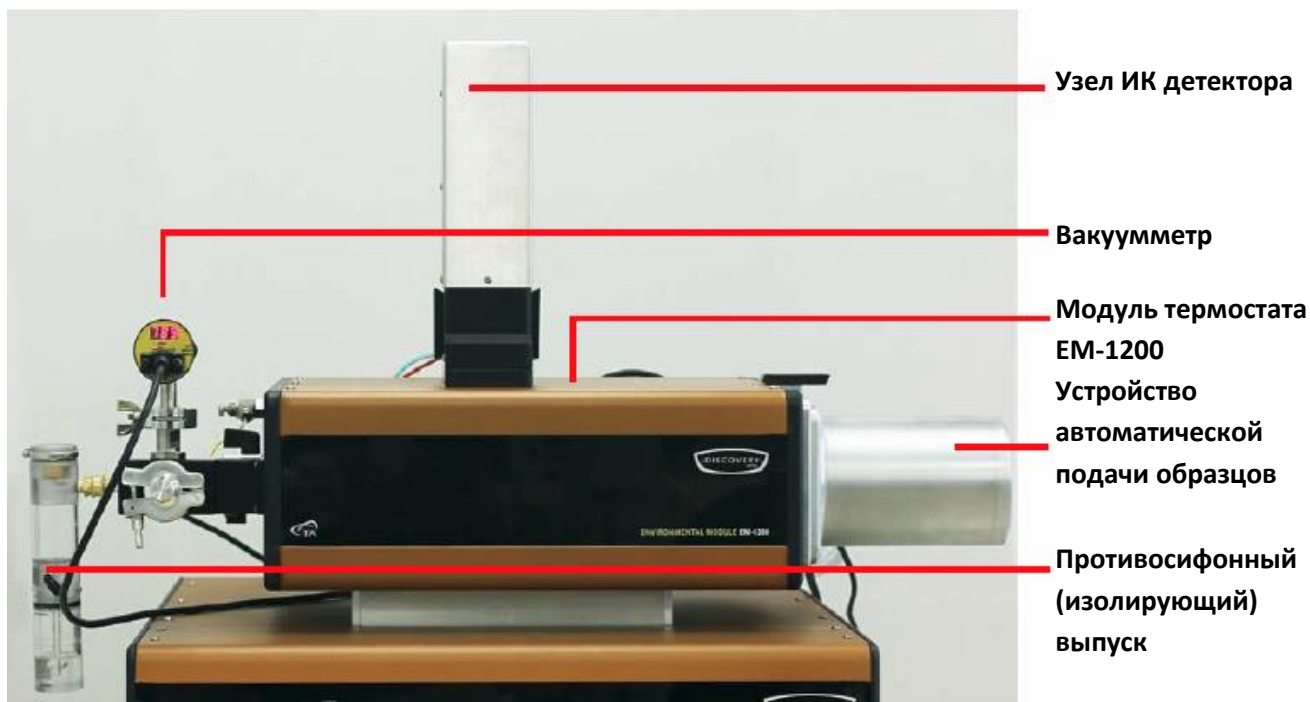


Рисунок 2.15 Модуль EM-1200 и узел ИК детектора.

2.8.1 Работа с DLF-1

Ниже представлен общий порядок проведения всех экспериментов на приборе DLF-1.

- Подготовка образца
- Выбор подходящего переходника и держателя образца
- Загрузка образца и закрытие модуля термостата
- Откачка системы и задание расхода продувочного газа
- Создание или выбор тестовой процедуры и введение информации об образце и приборе в интерфейсе пользователя ПО прибора.
- Запуск эксперимента

2.8.2 Проведение эксперимента на системе Discovery DLF-1. Подготовка образца

Перед применением для тестирования однородных твердых и непрозрачных материалов. Пользователь сам отвечает за то, чтобы определить, может ли новый материал быть протестирован в том виде, что он был предоставлен ему, или ему требуется специальная процедура подготовки.

Размеры образца

Чрезвычайно важно подготовить образец точно по размерам. Образец должен точно подходить к отверстию держателя (или специальной вставки). Если диаметр образца равен или немного превышает размер отверстия ячейки, во время эксперимента может иметь место дополнительная теплопередача от жестко зажатою образца к держателю, что может негативно сказаться на точности измерения температуропроводности. Если диаметр образца значительно меньше размера отверстия ячейки, то световой пучок может воздействовать на ИК детектор в обход образца, вызывая искажение термоотклика или даже повреждение детектора.

Расчетная температуропроводность пропорциональна квадрату толщины образца. Неточность определения толщины образца из-за грубой обработки или непараллельности поверхностей приведет к погрешности (ошибке) в определении значения температуропроводности. Поэтому рекомендуется машинную обработку образца с максимально высокой точностью (рекомендуемый допуск $\pm 1 \text{ mil}$ ($0,001 \text{ дюйма} = 25,4 \text{ мкм}$). Допуск на чистоту обработки боковых поверхностей меньше ($\pm 5 \text{ mil} = 0,005 \text{ дюйма} = 127 \text{ мкм}$).

Слишком толстые образцы сложно тестировать из-за низкого уровня сигнала температурного отклика и медленного и замедления реакции на лазерный импульс вследствие влияния тепловых потерь образца. Слишком тонкие образцы могут не дать истинные характеристики монолитного материала и склонны к увеличению доли погрешности от конечности времени лазерного импульса. Толщина должна выбираться так, чтобы экспериментальная полуширина отклика была в пределах от 40 мс до 2 с. Возможно, потребуется более, чем одна итерация по пробе и ошибке, чтобы определить оптимальную толщину образца для конкретного материала. Приведем несколько примеров оптимальных толщин для различных материалов: нержавеющая сталь = 1,6 мм, ситалл = 2 мм, графит, окись алюминия и молибден = 3,2 мм, медь и алюминий = 5 мм.

Прозрачные и полупрозрачные материалы

В методе подразумевается, чтобы вся энергия вспышки поглощалась на передней грани образца. Для прозрачных и полупрозрачных материалов энергия лазерного импульса будет распространяться на разные глубины образца (в зависимости от его коэффициента непрозрачности) или может полностью пройти сквозь образец, если он совершенно прозрачен. Во избежание этого на поверхности образцов наносят очень тонкий слой непрозрачного материала с высокой температуропроводностью. Для получения лучшей точности результатов наносится покрытие с высокой отражательной способностью (низкой излучательной способностью) типа золота или платины. В то же время покрытие такого типа не слишком подходит для поглощения энергии импульса, поэтому обычно сверху на него наносится второе, графитовое покрытие с высоким поглощением.

Критичным является, чтобы оба покрытия имели минимальную толщину. Это уменьшает вклад слоев в общее время распространения по сравнению с вкладом собственно образца.

Самые лучшие результаты дает вакуумное напыление слоя золота, серебра, никеля или платины с толщиной менее 1 мкм. Затем на это покрытие аэрозольным распылением наносится слой графита.

Пожалуйста, учтите, что:

- Во всех случаях следует выбирать материал покрытия таким, чтобы он был стоек к температурному воздействию в пределах параметров теста, а графитовое покрытие должно наноситься тонким слоем.
- Избегайте царапин на покрытых поверхностях после их высыхания; даже легкая пористость значительно исказит данные. Не допускайте осаждение пыли на покрытые поверхности.
- К материалам, на которые обычно наносится покрытие для повышения непрозрачности, относятся: стекло, кварц, окись алюминия, цирконий, карбид кремния, нитрид кремния, фтористый кальций, селенид цинка и др.

Образцы с высоким отражением

В случаях, если материал имеет высокоотражающую поверхность, оказывается сложно реализовать поглощение энергии от вспышки, достаточной для получения хорошего сигнала на противоположной грани. Ситуация обычно разрешается благодаря нанесению аэрозольного тонкого графитового покрытия.

Для тестирования удельной теплоемкости обязательным условием, чтобы оба образца: неизвестный и эталонный - были идентичны по излучательной способности по всему спектральному диапазону высокоскоростного лазерного луча. Что обеспечить выполнение этого условия всегда наносите графитовое покрытие на оба образца.

Нанесение графитового аэрозоля

Покрытие образца графитовым аэрозолем производится в следующем порядке:

1. Положите образцы на ровный лист бумаги. Расположите их в линию рядом друг с другом.
2. Используя фен, аккуратно нагрейте образцы.
3. Удерживайте баллон с графитовым аэрозолем примерно в 20-25 сантиметрах от образцов. Одним плавным движением струи напылите аэрозоль на поверхности слева направо.
4. Подождите одну минуту, чтобы высушить покрытие на образцах.
5. Поверните каждый из образцов на 90 градусов.
6. В том же порядке, начиная с шага 3, нанесите второй слой покрытия поперек по отношению к первому проходу.
7. Дайте образцам просохнуть не менее 3 минут, прежде чем наносить напыление на другую сторону. Повторите шаги от 2 до 6.
8. После просушки сохраняйте образцы на мягкой поверхности (например: на бумажной салфетке)

Загрузка и выгрузка образца

1. На устройстве автоматической подачи модуля термостата нажмите вверх верхнюю часть защелки, чтобы снять ее с запираемой части, и затем

аккуратно вытащите вверх головку из печи.

2. После открывания загрузите образцы в картриджи. Позиции нумеруются слева направо и номер позиции зависит от конфигурации держателя. Образцы загружаются в порядке нумерации позиций. Для удобства установки образцов картридж можно снять с поддерживающих стержней из окиси алюминия. Все ячейки держателя должны быть заполнены, даже если образцы не тестируются.

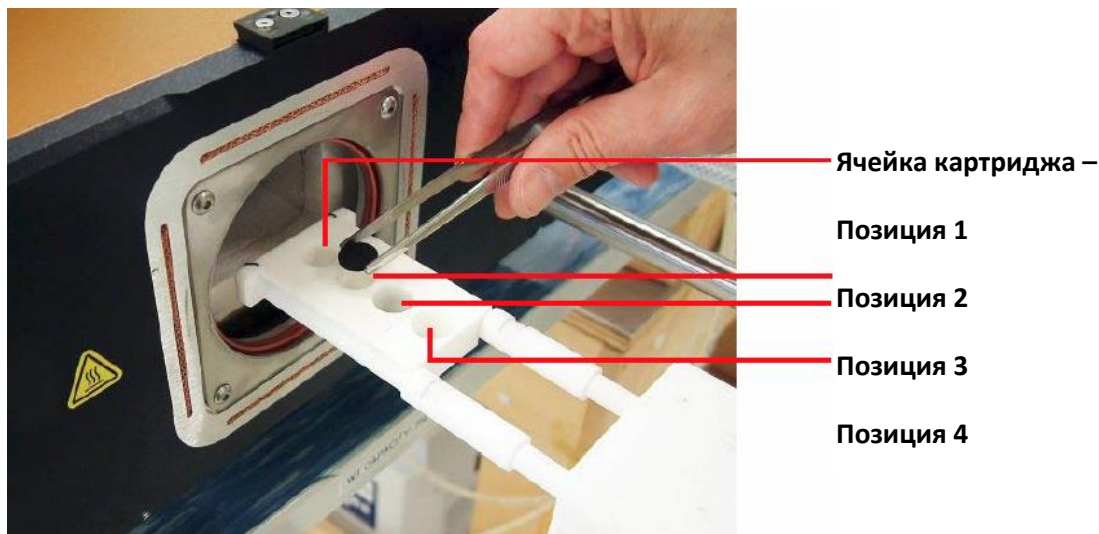
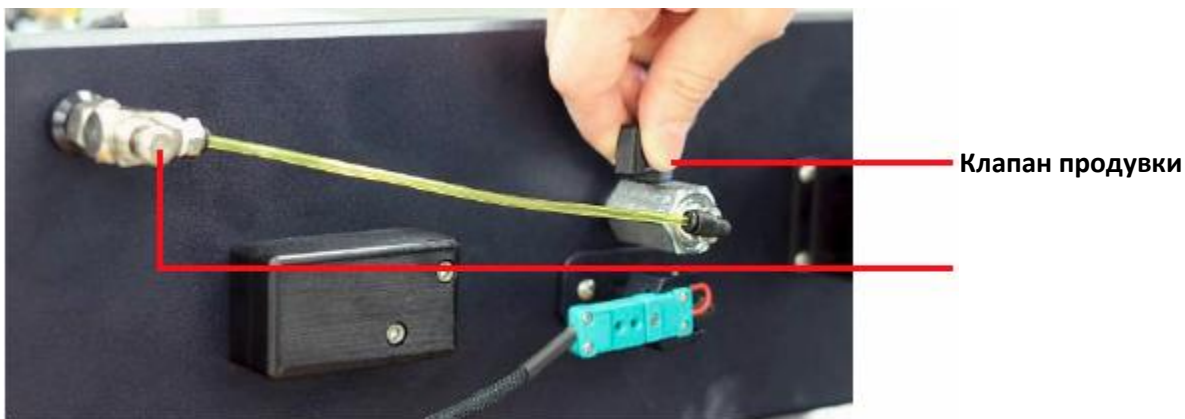


Рисунок 2.16 установка образца в ячейку картриджа с позицией 2.

3. После того, как образцы загружены, а картридж установлен на стержни из окиси алюминия, вставьте головку обратно в модуль термостата и зафиксируйте защелку. Теперь система готова к откачке и продувке.

Операции вакуумной откачки и продувки

1. Проверьте все вакуумные соединения.
2. Проверьте уровень масла в противосифонном выпуске. Добавьте, если необходимо, вакуумного масла до уровня, отмеченного на наружной поверхности резервуара.
3. Откройте продувочный клапан.



4. Включите вакуумный насос.
5. Откачайте систему по крайней мере до 100 мТорр.

Заполнение продуваемым газом

1. Выключите вакуумный насос.
2. Соблюдайте правила работы с вакуумным оборудованием.
3. Впустите поток продуваемого газа в камеру модуля термостата.
4. Контролируйте поток, используя узел противосифонного выходного порта. Поток должен быть непрерывным, примерно 4-5 пузырьков в секунду. Подкорректируйте интенсивность потока при помощи встроенного вентиля, который находится на боковой панели модуля термостата.

Заполнение детектора жидким азотом

1. Снимите крышку с сосуда Дьюара.
2. Введите в Дьюар воронку для жидкого азота (прилагается).
3. Заполните детектор жидким азотом.
4. Вытащите воронку и верните на место крышку Дьюара.
5. Подождите 5-10 минут для термостабилизации Дьюара.

Включение эксперимента

В пользовательском интерфейсе ПО создайте или выберите процедуру испытания, а также введите сведения о приборе и образце

1. ПО запускается двойным щелчком по значку FlashLine на рабочем столе экрана.
2. Вызовите команду меню: Operation > Startup Information (работа>стартовая информация).

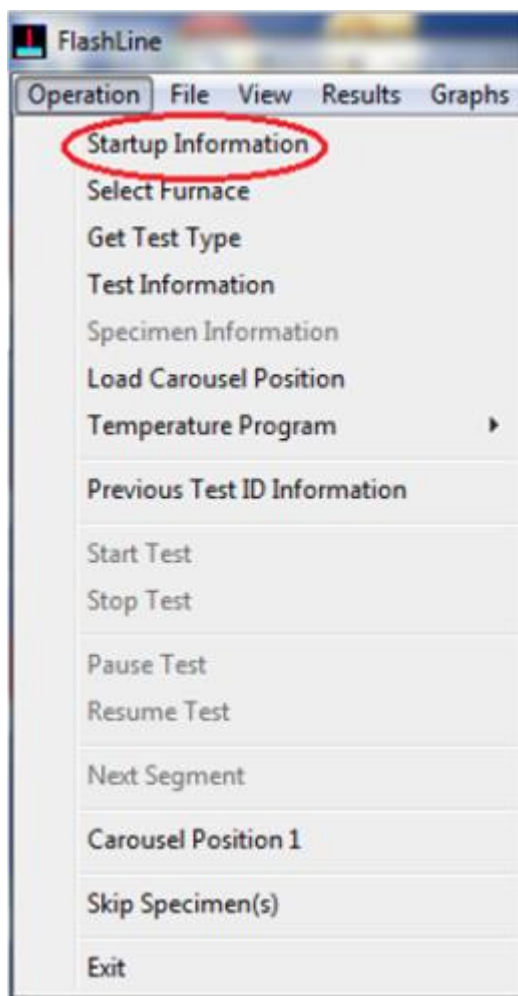


Рисунок2.17 Команда меню: Operation > Startup Information (работа>стартовая информация).

3. Нажмите кнопку ОК для подтверждения выбора. На экране появится диалоговое окно Test Information (информация об испытании).

4. В этом окне следует ввести параметры испытания, после чего нажмите кнопку Start Test (запуск испытания).

Далее установка работает в автоматич режиме и после отработки программы формируются текстовые файлы с результатами по оценке температуропроводности, удельной теплоемкости и теплопроводности всех исследованных образцов.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках данной ВКР рассматриваются научно-технические основы разработки и исследования влияния модифицирующих добавок на свойства теплопроводящей керамики на основе нитрида алюминия. Нитрид алюминия (AlN) – керамика высокой чистоты и превосходной микроструктурной и химической однородности, обладающая великолепными характеристиками.

Подложки из нитрида алюминия незаменимы в применениях, требующих значительного отвода тепла и являются лучшей и нетоксичной альтернативой оксиду бериллия. Применение теплопроводящей нитрид алюминиевой керамики:

- 1) изготовление высоконадежных керамических печатных плат;
- 2) изготовление подложки для лазерных диодов;
- 3) изготовление основания и держатели кристаллов мощных полупроводниковых приборов (транзисторов, диодов и пр.);
- 4) изготовление изоляционной прокладки для максимального отвода тепла от электронных компонентов к радиатору охлаждения;
- 5) изготовление основания плоских нагревательных элементов.

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научно-технического исследования (НТИ), планирование процесса управления НТИ, определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.

4.1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

Для реализации производства теплопроводящей нитрид алюминиевой керамики необходимо реализовать спектр задач, связанных с научными, техническими и экономическими проблемами. Основные решаемые в данном проекте задачи указаны на рисунке 4.1. Две первые задачи, приведенные на рисунке, относятся к этапу НИР проекта, поскольку эти проблемы связаны с получением опытного образца продукции. На данной стадии основная роль

отведена ученым-разработчикам. Затем идут две задачи, которые по той же стандартной методике являются принадлежащими к классу ОКР. На таком этапе участие ученых уменьшается и возрастает участие в проекте инженеров, призванных изготовить серийный образец продукции. Если получен серийный образец, то проект нуждается в коммерциализации. Эту задачу необходимо решить привлеченному к участию предпринимателю и менеджеру.



Рисунок 4.1 – Дерево целей

Задачи проекта решаются на базе оборудования, находящегося в 8 корпусе ТПУ. Главным объектом развития и оптимизации технологии является экспериментальная установка – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель с емкостным накопителем энергии в качестве импульсного источника питания. Данная система предназначена для получения разных модифицирующих добавок. Далее порошковые материалы спекаются в SPS-установке, для получения теплопроводящей керамики на основе нитрид алюминия. В настоящий момент для настоящего проекта завершена стадия НИР, получен опытный образец, необходимо начать этап ОКР.

Конкурентные преимущества плазмодинамического метода синтеза и искрового плазменного спекания состоят в следующем:

- 1) метод является одностадийным (не требует пробоподготовки прекурсоров и последующей очистки продукта синтеза);
- 2) при работе отсутствуют вредные выбросы;

3) метод имеет высокую производительность при низких энергозатратах порядка 100 кВт·час/кг;

4) реагенты являются самыми распространенными элементами на Земле.

Рассмотрим факторы микросреды, к которым относятся анализ поставщиков, потенциальных покупателей, конкурентов и контактной аудитории. Поставщиками материалов для реализации производства являются следующие компании:

1) ООО ПКФ «Графит Гарант Сервис», г. Челябинск – поставка графита для изготовления пресс форм;

2) ООО «ГВС», г. Томск – поставка газообразного или жидкого азота, используемого в качестве газовой среды в рабочей камере;

3) ООО «Промметалл», г. Томск – поставка металлических элементов для изготовления деталей и частей магнитоплазменного ускорителя;

4) ООО «НЭВЗ-керамикс», г. Черноголовка – поставка порошковых материалов на основе нитрид алюминия для создания теплопроводящей керамики.

Несмотря на то, что ныне существующие методы недостаточно эффективны при производстве теплопроводящей керамики, спрос на этот материал постоянно растет и следующие фирмы могут быть заинтересованы в приобретении технологии или самого продукта:

1) «РосНАНО» (Россия) – производство нанодисперсных порошков

2) «MOJE Keramik-Implantate GmbH&Co.KG» (Германия, филиал в томской ТВЗ) – производство керамических имплантатов с улучшенными свойствами биосовместимости

3) «Токуо Текко Со» (Япония) – производство керамических изделий с высокими эксплуатационными характеристиками

Следует отметить, что в связи с отсутствием производственного рынка и рынка сбыта для данных материалов прямые конкурентов нет. Однако, ввиду большой перспективности данных соединений повышенный интерес к ним проявляют китайские и американские научные институты, которые на данный

момент являются лидерами в области синтеза данных соединений.

Отметим факторы макросреды, влияющие на реализацию проекта:

- 1) Политические. Отсутствие государственных программ по поддержке предприятий в области производства нанопорошков;
- 2) Социально-культурные. Отсутствует просвещенность населения и отечественных фирм-потребителей в области нанотехнологий;
- 3) Международные. Затрудненность взаимодействия с зарубежными потребителями и выхода на международный рынок;
- 4) Научно-технические. Возможность финансовой поддержки со стороны государства и частных лиц (гранты, проекты и др.);
- 5) Экономические. Недостаточное его развитие в мире.

Важным фактором, позволяющим оценить потенциал проекта, является экспертное оценивание – процедура получения оценки проблемы на основе мнения экспертов. В данном случае проводится сравнение существующих методов получения модифицирующей добавки нитрида алюминия. Результаты экспертного оценивания представлены в таблице Б1. Для каждого метода в столбцах с факторами конкурентоспособности поставлена оценка от 1 до 10, показывающая степень удовлетворения потребностям заказчика. Далее вводятся некоторые коррекционные коэффициенты, призванные распределить критерии по важности. В результате расчета для плазмодинамического метода получена максимальная оценка, что свидетельствует о его наибольшей эффективности.

Значимым инструментом маркетингового исследования является SWOT-анализ – это акроним слов Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабости), Opportunities (благоприятные возможности) и Threats (угрозы). Внутренняя обстановка фирмы отражается в основном в S и W, а внешняя – в O и T. SWOT-анализ является одним из этапов разработки маркетинговой стратегии. Методология SWOT-анализа предполагает, во-первых, выявление внутренних сильных и слабых сторон фирмы, а также внешних возможностей и угроз, и, во-вторых, установление связей между ними. Сводные данные SWOT-анализа представлены в таблице Б2. В процессе анализа определяется следующее.

1. Конкурентные активы. Использование сильных сторон для освоения рыночных возможностей (S-O). Метод синтеза характеризуется такими важными конкурентными преимуществами, как простота метода синтеза, быстрое действие, энергоэффективность, экологическая безопасность, низкая себестоимость, которые способны привлечь инвесторов для выполнения ОКР и коммерциализации проекта, выхода на российский и мировой рынок. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

2. Конкурентные пассивы. Преодоление слабых сторон для нивелирования угроз (W-T). Наиболее значимыми недостатками проекта являются отсутствие в составе проектной команды маркетологов и экономистов и, как следствие, отсутствие стратегии развития, неизвестная торговая марка, отсутствие автоматизированной производственной линии и поэтому малые объемы получаемой продукции в настоящее время. Если в ходе развития проекта команда будет укомплектована высококвалифицированными экономистами, то это позволит провести тщательные исследования мирового и российского рынков и попытаться выработать стратегию развития компании. Наличие правильной стратегии позволит нивелировать угрозу отсутствия рынка.

3. Узкие места. Преодоление слабых сторон для освоения возможностей (W-O). Преодоление недостатков, связанных с отсутствием в команде экономистов и маркетологов и с недостаточно высокими объемами выпуска продукции, откроет возможности для освоения и развития рынка нанодисперсного нитрида углерода.

4. Безопасность и защита. Использование сильных сторон для нивелирования угроз (S-T). Такие преимущества, как большой опыт работы высококвалифицированной команды проекта, сплоченный коллектив, помогут добиться успешного выполнения опытно-конструкторских работ и создания автоматизированной установки, что позволит нивелировать угрозы неразвитости рынка.

Из полученных стратегических альтернатив необходимо выбрать те,

которые будут обладать наибольшей силой, весом.

1. Приоритеты угроз – сопоставление угроз с преимуществами и рыночными возможностями. Рынок производства и сбыта отсутствует, внимание потенциальных компаний-покупателей и СМИ невысоко в области нанотехнологий, поэтому в ходе реализации проекта придется столкнуться с проблемами, характерными для первопроходцев рынка. Однако, учитывая уникальные физические свойства нанонитрида углерода и преимущества метода синтеза, а также наличие высококвалифицированного состава проектной команды, можно назвать угрозы вполне преодолимыми.

2. Приоритеты развития – немедленное улучшение слабых мест, сопоставление недостатков с преимуществами и рыночными возможностями. Наиболее существенными недостатками, которые необходимо разрешить в ходе реализации проекта являются проблемы, связанные с отсутствием в команде экономистов и маркетологов, и малый объем производства. При этом имеется высокая возможность создания собственного рынка и установления собственных «правил игры». Такие возможности могут заинтересовать специалистов по экономике и маркетингу топ-уровня.

Таким образом, в ходе SWOT-анализа удалось выявить наиболее важные проблемы, которые необходимо разрешить в процессе выполнения проекта: повышение объемов производства нанодисперсного графитоподобного нитрида углерода за счет создания автоматизированной установки и привлечение в команду высококвалифицированных экономистов и маркетологов.

4.2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок

Исходя из SWOT-анализа, стратегия развития состоит из двух сторон: осуществление на базе завершенной НИР этапа ОКР, связанного с созданием опытной производственной линии; параллельная подготовка к стадии коммерциализации проекта, т.е. к осуществлению первых продаж продукта.

Разработаем календарный план проекта. Для построения сетевого

графика приведем перечень работ (таблице Б3). При помощи этой таблицы построим сетевой график, гистограммы бюджета и трудовых ресурсов по времени (таблице Б3, Б4 и Б5 соответственно). Сетевой график дает четкое представление о порядке следования работ, но он недостаточно нагляден для определения работ в некоторый момент времени. Построим график учета выполнения работ, представленный на рисунке Б1.

Разработаем производственный план проекта. Предлагаемый проект является инновационным, т.е. в его основе имеется принципиально новая идея, внедрение которой является потенциально коммерциализируемой. Выполнение опытно-конструкторских работ предполагается на базе лаборатории магнитоплазменных технологий ТПУ. Наиболее оптимальный вариант – создание малого инновационного предприятия. Основными преимуществами такого вида коммерческой деятельности являются более быстрая адаптация к требованиям рынка, гибкость управления и оперативность в выполнении принимаемых решений, низкая потребность в первоначальном капитале и прочее. Однако в данном проекте необходимо учесть вариант реализации, в том числе и при использовании собственных основных фондов. Расчетный бюджет проекта при таком способе реализации приведен ниже в таблице Б5

Таким образом, потребность в инвестициях составляет 20 927 000 рублей. Финансирование проекта возможно на средства частных инвесторов – бизнес-ангелов, либо из средств венчурных фондов (в том числе, РВК – российской венчурной компании).

Проведем расчет финансового плана (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Финансовый план

Показатели	тыс. руб				
	2013	2014	2015	2016	2017
Инвестиционные вложения	21000				
Поступления от продаж		28000,00	32000,00	36000,00	40000,00

Себестоимость		9000,00	10800,00	11700,00	12600,00
Амортизация		2500,00	2500,00	2500,00	2500,00
Налоги		3800,00	4240,00	4860,00	5480,00
Прибыль		19000,00	21200,00	24300,00	27400,00
Чистая прибыль		15200,00	16960,00	19440,00	21920,00
Чистый доход		17700,00	19460,00	21940,00	24420,00
Рентабельность продаж		0,54	0,53	0,54	0,55
Рентабельность производства		0,61	0,68	0,78	0,88

Инвестиционные вложения рассчитаны с учетом бюджета проекта и расширения производства (закупка оборудования) через два года. Налоги посчитаны по упрощенной системе налогообложения (20% от выручки).

На протяжении анализируемого периода поступления от основной деятельности являются положительными и возрастают от периода к периоду. Таким образом, основная деятельность дает стабильный приток денежных средств, что положительно характеризует финансовое состояние предприятия.

4.3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности

Разработаем инвестиционный план проекта

К числу основных финансовых показателей относят:

1. ЧДД (NPV) – чистый дисконтированный доход:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i} = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 44336 \text{ тыс. руб}$$

где ЧД_і – чистый доход і-го года; К_і – объем инвестиций по годам реализации проекта; n – срок реализации проекта; r – номер дисконта, принимаем равной 0,1.

2. ИД (PI) – индекс доходности:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ЧД_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+r)^i}} = \frac{\frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4}}{\frac{21000}{(1+0,1)^0}} = 3,111$$

3. $T_{ок}$ – дисконтируемый срок окупаемости:

$$NPV_0 = \frac{21000}{(1+0,1)^0} = -21000 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_1 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = -4909 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_2 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 11174 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_3 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 27657 \text{ тыс. руб.};$$

$$NPV_4 = \frac{17700}{(1+0,1)^1} + \frac{19460}{(1+0,1)^2} + \frac{21940}{(1+0,1)^3} + \frac{24420}{(1+0,1)^4} - \frac{21000}{(1+0,1)^0} = 44336 \text{ тыс. руб.};$$

Дисконтируемый срок окупаемости 2 года.

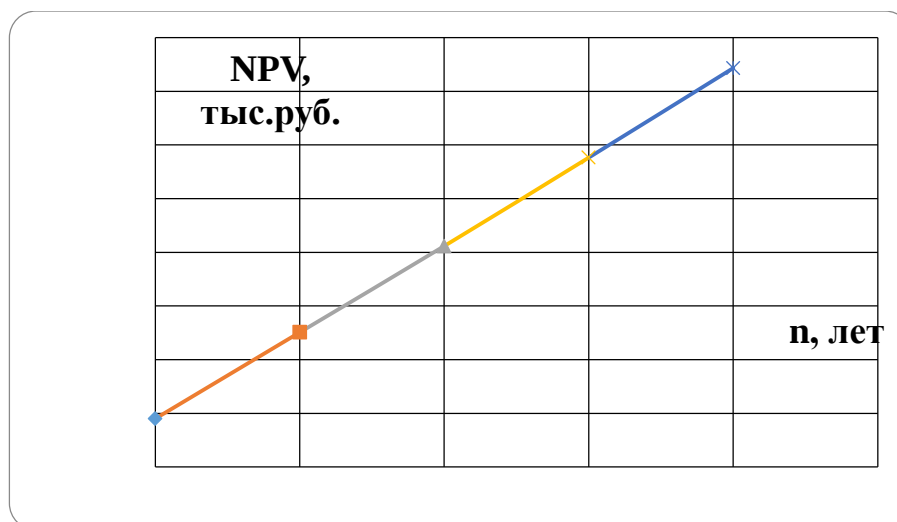


Рисунок 4.1 – График NPV(t)

4. ВНД (IRR) – внутренняя норма доходности:

- $IRR = r_{при NPV = 0};$
 $NPV_{r=0,2} = 31737 \text{ тыс.руб};$
 $NPV_{r=0,3} = 26667 \text{ тыс.руб};$
 5. $NPV_{r=0,8} = 15924 \text{ тыс.руб};$
 $NPV_{r=1,0} = 928 \text{ тыс.руб};$
 $NPV_{r=1,2} = -5830 \text{ тыс.руб}.$

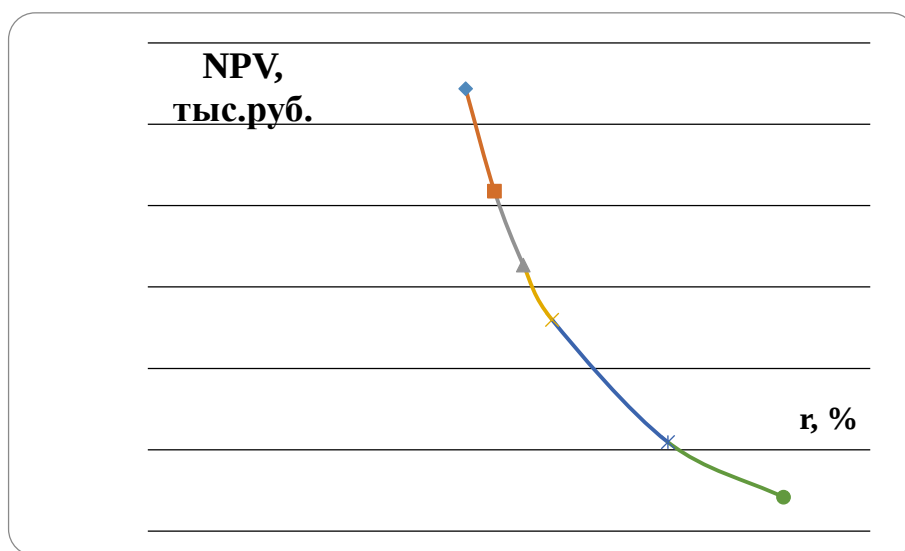


Рисунок 4.2 – График NPV(r)

По расчетам получено $IRR=101\%$.

Произведем оценку рисков. Определение и рисков является одним из важнейших моментов при создании проекта. Учет рисков поможет при реализации проекта избежать опасных факторов, негативно отражающихся на внедрении в жизнь проекта. С целью классификации рисков в первую очередь составляется древо рисков, изображенное на рисунке Б4.

Далее производится оценка важности рисков. При оценке важности рисков оценивается вероятность их наступления (P_i). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом (w_i). Важность оценивается по 10- балльной шкале b_i . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблице

Таблица 4.2 – Социальные риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	Низкая квалификация ремонтного персонала	0	2	0,071	0
2	Непросвещенность компаний в области нанотехнологий	50	5	0,178	8,928
3	Бюрократические проволочки на стадии регистрации	50	8	0,285	14,285
4	Несоблюдение техники безопасности	25	7	0,25	6,25
5	Увеличение нагрузки на персонал	50	5	0,178	8,928
6	Отсутствие корпоративных стандартов	75	1	0,035	2,678
	Сумма		28	1	41,071

Таблица 4.3 – Экономические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность создания рынка производства и сбыта	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 4.4 – Политические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	Снижение приоритета Правительства РФ в области нанотехнологий	25	7	0,466	11,666
2	Смена власти	0	1	0,066	0
3	Угроза национализации	0	1	0,066	0
4	Отсутствие поддержки со стороны чиновников	75	6	0,4	30
	Сумма		15	1	41,666

Таблица 4.5 – Технологические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
4	опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 4.6 – Научно-технические риски

№	Риски	P _i	b _i	w _i	P _i *w _i
1	развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	создание новых методов синтеза	75	7	0,145	10,937
3	риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208

6	несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков (таблица 4.7), который дает общую оценку в 43, т.е. проект имеет право на жизнь, хотя и не лишен препятствий. Оценка групп риска с наиболее высокими показателями будет учтена на этап ОКР, чтобы по возможности снизить их отрицательное влияние.

Таблица 4.7 – Общие риски

№ п/п	Риски	P_i	b_i	w_i	$b_i * w_i$
1	Социальные	6	0,162	41,071	6,660
2	Экономические	9	0,243	46,568	11,327
3	Политические	4	0,108	41,666	4,504
4	Технологические	8	0,216	32,142	6,949
5	Научно-технические	10	0,270	47,395	12,809
Итого			9		43

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками. Рекомендуемые мероприятия приведены ниже.

Социальные риски:

1. низкая квалификация ремонтного персонала - не скупиться на зарплату высококвалифицированному персоналу, затратить время на поиск персонала;
2. непросвещенность компаний в области нанотехнологий – писать статьи в научно-популярных изданиях, проводить работу с инвесторами;
3. бюрократические проволочки на стадии регистрации – запастись терпением;
4. несоблюдение техники безопасности – применять информационные стенды и сообщения, обязательное получение допуска по ТБ, ведение журнала ТБ;

5. увеличение нагрузки на персонал – организация режима труда-отдыха, премирование добросовестных работников;

6. отсутствие корпоративных стандартов – проведение коллективных мероприятий, «корпоративных пятниц».

Экономические риски:

1. инфляция – закладывание в бюджет дополнительных потерь финансовых средств от инфляции;

2. экономический кризис – прогнозирование экономической ситуации;

3. недобросовестность поставщиков – поиск добросовестных и проверенных поставщиков;

4. непредвиденные расходы в плане работ – закладка в бюджет и план работ дополнительных расходов;

5. снижение уровня спроса на продукцию – проведение рекламной кампании;

6. сложность создания рынка производства и сбыта – проведение рекламных кампаний в России и за рубежом, поиск опытных экономистов, работа с потенциальными покупателями;

7. колебания рыночной конъюнктуры – отслеживание рынка «спроса-предложение», прогнозирование экономической ситуации;

8. отсутствие в числе сотрудников экономистов – поиск квалифицированных специалистов;

9. низкие объемы сбыта – поиск покупателей, проведение рекламных кампаний.

Технологические риски:

1. возможность поломки оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей, качественный монтаж и эксплуатация оборудования;

2. низкое качество поставленного оборудования – заказ качественного оборудования известных фирм-производителей;

3. неправильная сборка оборудования – качественный монтаж и

эксплуатация оборудования;

4. опасность для работающего персонала и аппаратуры – проведение мероприятий по ТБ

Научно-технические риски:

1. развитие конкурентных технологий, создание новых методов синтеза, риск невозможности усовершенствования технологии – искать и рассматривать всевозможные пути оптимизации

2. отсутствие результата в установленные сроки – премирование и штрафные санкции к ответственным за выполнение работ по плану, отслеживание времени начала и окончания работ, четкого графика

3. получение отрицательного результата при внедрении в производство – согласование и контакт с возможными покупателями продукта

4. несвоевременное патентование – назначение ответственных за написание и оформление патентных документов

Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении вышеуказанных мероприятий, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при реализации этапа опытно-конструкторских работ следует обратить внимание на научно-технические и технологические риски.

Заключение

В ходе разработки настоящей главы ВКР были решены следующие задачи: определена концепция проекта, факторы микро- и макросреды, проанализирован рынок продукта, проведена экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ, разработан календарный, производственный и финансовый план, рассчитан бюджет проекта, разработан инвестиционный план и проведена оценка рисков.

Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе исследований, которые позволили объективно оценить эффективность проводимых научно-технических исследований.

Список публикаций студента

1. Оценка влияния модифицирующих добавок на свойства нитрид алюминиевой керамике, полученной по технологии искрового плазменного спекания // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы XVII Международной научно-технической конференции – Томск, 14-16 октября 2015 г./ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 – С. 292-295.