

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Выращивание нанооксидных покрытий методом анодирования

УДК 621.357.74-022.532:669.056.91

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Цзи Синьюй		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Воронова Г.А.	канд.хим.наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Т.В.	канд.техн.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.А.	Д.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук, доцент		

Томск – 2021 г.

**Результаты обучения по направлению
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
	Универсальные компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
	Общепрофессиональные компетенции
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности

ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
	Профессиональные компетенции
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации

ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ О.Ю. Ваулина
 (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
154Б72	Цзи Синьюй

Тема работы:

Выращивание наноксидных покрытий методом анодирования	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №57-53/с от 26.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2021 г
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую	Разработка двухстадийного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур анодированного алюминия. Результат зависит от концентрации раствора, величины напряжения, формы образца, температуры и так далее. Регулировка этих факторов повлияет на получение требуемого размера и формы пор анодированного алюминия.
---	---

среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (анализ литературных источников; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Анализ и систематизация литературных данных по теме исследования. Определение параметров, которые имеют решающее влияние на структуру пленки наноксида алюминия. Алюминиевая подложка используется в качестве анода (механическая предварительная прокатка, химическая очистка от масла и примесей, термический отжиг для рекристаллизации и релаксации, электролитическая полировка). Для создания упорядоченной наноксидной пленки используется двухэтапный метод анодирования подготовленной алюминиевой подложки. Изучить полученную структуру покрытия и сравнить результаты между собой. Выдвинуть предложения по влиянию условий процесса на структуру покрытия.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Графики, схемы, применяемые в работе
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент.	Былкова Т.В., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Сечин А.А. профессор ООД ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке	
Введение, литературный обзор, методика эксперимента, результаты и их обсуждение, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность и заключение должны быть написаны на русском языке.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.05.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Воронова Г.А.	канд.хим.наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Цзи Синьюй		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»
Уровень образования бакалавр
Отделение школы (НОЦ) отделение материаловедения
Период выполнения весенний семестр 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:	02.06.2021 г
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.04.2021	Социальная ответственность	15
23.04.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
20.05.2021	Литературный обзор	25
05.06.2021	Методика эксперимента	20
07.06.2021	Результаты и их обсуждение	25

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Воронова Г.А.	канд.хим.наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Ваулина О.Ю.	канд.техн.наук		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Цзи Синьюй

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

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 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Расчет интегрального показателя эффективности

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП	
2. Матрица SWOT	
3. Диаграмма Ганта	
4. Бюджет НИ	
5. Основные показатели эффективности НИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2021 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	Конд. экон. наук		01.02.2021г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Цзи Синьюй		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б72	Цзи Синьюй

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР: Выращивание наноксидных покрытий методом анодирования

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: пористый анодированный оксид алюминия Область применения: мембранные технологии, темплатный синтез
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.А.	Д.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б72	Цзи Синьюй		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 с., 28 рис., 26 табл., 34 источника.

Ключевые слова: анодирование, анодный оксид алюминия, нанопористая структура.

Цель исследования - получение нанооксидных покрытий методом анодного окисления металлов.

Цель работы – разработка двухэтапного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия.

В процессе исследования проводились анализ литературных данных о состоянии проблемы, выбор условий и режимов процесса, подготовка исходного алюминия к анодированию, проведение одно- и двухступенчатого процесса анодирования образцов, анализ структуры полученных нанопористых структур на основе анодного оксида алюминия, усовершенствование конструкции электрохимической ячейки для анодирования.

В результате исследования были представлены выводы по влиянию условий и режимов процесса на свойства и характеристики нанопористых структур на основе оксида алюминия, предложены сферы его дальнейшего использования, улучшена конструкция электрохимической ячейки для анодирования.

В будущем планируется проведение дополнительных исследований по усовершенствованию методик контролируемого роста нанопористых структур

на основе анодного оксида алюминия.

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения:

АОА – Анодный оксид алюминия

ВСП – Вольтстатический режим

ГСП – Гальваностатический режим

АСМ – Атомно- силовая микроскопия

РФА – Рентгенофазовый анализ

РЭМ – Растровый электронный микроскоп

Содержание

Введение.....	16
1. Литературный обзор.....	18
1.1. Анодирование алюминия и его сплавов.....	18
1.2. Стадии порообразования.....	21
1.3 Получение АОА.....	25
1.4. Анодирование других металлов.....	30
2. Методика эксперимента и расчета.....	32
2.1 Термическая обработка алюминиевых пластин А99.....	32
2.2 Электрохимическая полировка алюминиевых пластин.....	32
2.3 Экспериментальная установка анодирования.....	34
2.4 Сканирующая атомно-силовая микроскопия.....	35
2.5 Растровая электронная микроскопия.....	36
3. Результаты и их обсуждение.....	37
3.1. Подготовка алюминиевых пластин к анодированию.....	37
3.2. Получение АОА в водном растворе ортофосфорной кислоты.....	39
3.2.1 Первая ступень анодирования в растворе ортофосфорной кислоты.....	39
3.2.2 Удаление оксидного слоя АОА, полученного на первой стадии.....	46
3.2.3 Вторая ступень анодирования.....	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	54
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	55
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	56
4.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	61
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	61
4.2.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	62
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	65
4.3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
5. Социальная ответственность.....	76
Введение.....	76
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	76
5.2. Производственная безопасность.....	77
5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	78
5.2.1.1 Отклонения показателей микроклимата.....	78
5.2.1.2 Превышение уровня шума.....	79
5.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	80
5.2.1.4 Анализ электробезопасности.....	82
5.2.1.5 Анализ пожарной безопасности.....	83
5.3. Экологическая безопасность.....	85
5.3.1. Защита санитарной зоны.....	85
5.3.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы).....	86
5.3.3. Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).....	86

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
Выводы по разделу "Социальная ответственность".....	88
Выводы.....	89
Список использованных источников.....	90
Приложение.....	94

Введение

Получение нанооксидных покрытий методом анодирования металлов – современный и недорогой метод получения наноструктур, обладающих уникальными свойствами.

Наноматериалы привлекли внимание многих исследователей благодаря своим уникальным свойствам в области электричества, оптики и магнетизма. Среди них важное место занимает анодированный пористый оксид алюминия. Пористый оксид алюминия легко приготовить, и выбор различных условий электролиза позволяет легко контролировать размер нанопор. Нанопоры имеют диаметр от 15 до 200 нм, глубину пор до 100 мкм. Пористый оксид алюминия имеет широкий спектр применения. Его можно использовать в качестве измерителя высокого отношения в конденсаторе, в качестве шаблона для синтеза нанопроволок или нанотрубок, а также в качестве биосенсоров или реакторов [1 - 5].

Мы приготовили пористые мембраны из оксида алюминия методом анодного окисления и сначала получили удовлетворительные результаты. Снижение себестоимости АОА является неотложной задачей: в текущей работе были выбраны алюминиевые пластины промышленного качества (алюминий класса А99 с минимальным содержанием алюминия 99,9%).

Цель работы: разработать двухстадийный процесс анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия.

Задачи исследования:

1. Введение и анализ литературных материалов по теме;
2. Определение параметров, оказывающих решающее влияние на покрытие из АОА;
3. Подготовка образцов из алюминия А99 к проведению анодирования;
4. Разработка двухступенчатого процесса анодирования для анодированного алюминия А99 для формирования самоорганизующегося наноструктурного АОА покрытия;
5. Изучения структуры полученного покрытия АОА;
6. Усовершенствование конструкции электрохимической ячейки для анодирования.
7. Проанализировать разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

Научная новизна работы:

Получено самоорганизующееся наноструктурированное АОА-покрытие на основе алюминия марки А99.

1. Литературный обзор

1.1. Анодирование алюминия и его сплавов

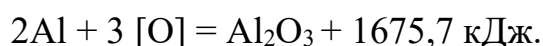
Принцип анодирования алюминия - это, по сути, принцип электролиза воды. Под действием электрического тока происходят следующие реакции:

На катоде выделяется H_2 по следующей реакции: $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$,

На аноде $4OH^- - 4e \rightarrow 2H_2O + O_2$.

Кислород представляет собой не только молекулярный кислород (O_2), но также атомарный кислород (O) и ионный кислород (O^{2-}).

Алюминий, используемый в качестве анода, окисляется осажденным на нем кислородом, образуя безводную пленку Al_2O_3 :



Анодирование давно широко применяется в промышленности. Существует множество способов, которые можно свести к следующим методам классификации:

В зависимости от типа тока различают: анодирование постоянным током, анодирование переменным током и анодирование импульсным током, которые могут сократить время производства до необходимой толщины, пленка при этом образуется толстая, однородная и плотная, а коррозионная стойкость значительно улучшена.

Согласно природе электролита: делится на серную кислоту, щавелевую кислоту, хромовую кислоту, смешанную кислоту и анодирование с помощью раствора органической сульфоновой кислоты.

По характеру пленки она делится на: обычная пленка, твердая пленка (толстая пленка), фарфоровая пленка, яркий модифицированный слой, полупроводниковый барьерный слой и другое анодирование.

Применение анодирования серной кислотой при постоянном токе является наиболее распространенным, поскольку оно подходящее для алюминия и большинства алюминиевых сплавов; слой пленки толще, тверже и износостойкий, а после герметизации можно получить лучшую коррозионную стойкость; пленка бесцветная и прозрачная, с высокой адсорбционной способностью и легко окрашивается; низкое напряжение обработки и низкое энергопотребление; процесс обработки не требует изменения цикла напряжения, что способствует непрерывному производству и автоматизации практических операций; серная кислота менее вредна для человека, чем хромовая, и имеет широкий ассортимент, невысокую цену и другие преимущества.

Анодная оксидная пленка состоит из двух слоев, внешний слой называется пористым слоем, который является более толстым, рыхлым и пористым и имеет низкое сопротивление. Внутренний слой называется барьерным слоем (также называемым активным слоем), он тоньше, плотнее и имеет высокое сопротивление. Пористый внешний слой выращивается на плотном внутреннем слое с диэлектрическими свойствами. В общем, анодная оксидная пленка представляет собой массив шестиугольных цилиндров. Каждый цилиндр имеет

отверстие в форме звезды, заполненное раствором, которое напоминает сотовую структуру. Толщина стенки поры в два раза больше диаметра поры.

Барьерный слой состоит из безводного Al_2O_3 , тонкого и плотного, с высокой твердостью и блокирующего прохождение тока.

Пористая внешняя оксидная пленка в основном состоит из аморфного Al_2O_3 и небольшого количества $\gamma-Al_2O_3 \cdot nH_2O$, который также содержит анионы электролита.

Размер пор оксидной пленки составляет от 100 нм до 200 нм, толщина оксидной пленки составляет примерно 10 микрон, пористость составляет примерно 20%, а расстояние между порами составляет от 300 до 500 нм. Вид в разрезе оксидной пленки показывает, что отверстие в оксидной пленке в основном представляет собой трубчатую структуру, и реакция растворения оксидной пленки в основном происходит на дне отверстия. Диаметр пор обычно для анодного окисления постоянного тока составляет около 20 нм.

Большинство превосходных свойств оксидной пленки, таких как коррозионная стойкость, износостойкость, адсорбция, изоляция и т.д., определяются толщиной и пористостью внешнего пористого слоя, но эти два фактора тесно связаны с условиями анодирования, поэтому это можно сделать, изменив условия анодирования, чтобы получить пленку, отвечающую требованиям. Толщина пленки является очень важным показателем эффективности анодированной продукции, и ее величина напрямую влияет на коррозионную стойкость, износостойкость, изоляционную и химическую

окрашивающую способность пленки. В обычном процессе анодного окисления слой пленки со временем утолщается. После достижения максимальной толщины он постепенно становится тоньше с увеличением времени обработки. Некоторые сплавы, такие как сплавы Al-Mg и Al-Mg-Zn, ведут себя особенно подобным образом. Следовательно, время окисления обычно регулируется в пределах времени максимальной толщины пленки.

Анодированная пленка имеет высокую твердость и износостойкость, сильную адгезию, высокую адсорбционную способность, хорошую коррозионную стойкость и электрическую изоляцию, а также высокую теплоизоляцию. Из-за этих специфических свойств он широко используется во всех аспектах [6].

1.2. Стадии порообразования

Пористый анодный оксид алюминия обладает уникальной «собственной» структурой, позволяющей изготавливать столбиковые, нитевидные, точечные, конусообразные и другие элементы с нанометровыми размерами, которые невозможно получить и воспроизвести известными методами микрообработки, в частности литографии. Особенности структуры являются:

- равномерное распределение микроскопических пор с диаметром от субмикронного до нанометрового диапазона;
- расположение вертикально направленных пор с высоким аспектовым отношением (до 1000) на почти одинаковом расстоянии друг от друга;

- высокая воспроизводимость геометрических параметров структуры на образцах большой площади;

- возможность управления геометрическими размерами пор и ячеек пористого оксида путем изменения состава электролита и режимов электрохимической обработки.

Оборудование для получения анодных оксидов алюминия включает двухэлектродную ячейку с термостатированием и мешалкой, а также систему синхронного контроля за электрическими параметрами анодирования. Так как используются неагрессивные электролиты, ячейка может быть изготовлена из стекла или металла, а катод из графита или любого, не растворяющегося в электролите металла или сплава, например, тантала, титана, алюминия, ниобия, стали.

Образование анодных оксидов из тонких пленок или массивного алюминия в жидких электролитах при электрохимическом анодном окислении (оксидировании) происходит в результате встречной миграции ионов Al^{+3} и O^{-2} в электрическом поле большой напряженности. Сложный процесс пористого анодного окисления алюминия целесообразно разделить на три стадии:

- 1) протекание реакции передачи кислорода от анионов или молекул раствора на анодируемый металл и возникновение первичного соединения алюминия с кислородом;

- 2) формирование сплошной тонкой оксидной пленки барьерного типа;

- 3) рост утолщенной пленки пористого типа.

Донорами кислорода могут быть все кислородсодержащие ионы электролита (SO_4^{2-} , HSO_4^- , PO_4^{3-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, OH^-), а также недиссоциированные молекулы раствора и прежде всего молекулы воды. Так как при анодировании в водных растворах кислот (например, серной) не наблюдается восстановления кислоты (например, H_2SO_4 до SO_2 или элементарной серы), можно заключить, что анионы кислот (SO_4^{2-}) в водных растворах электролитов являются только переносчиками кислорода, а основным донором кислорода являются молекулы воды.

Образование пор начинается не одновременно по всей поверхности металла, а в энергетически выгодных местах, которыми могут быть места выхода дислокаций на поверхность, линии скольжения, границы зерен, примеси, структурные дефекты и др. Так, первоначальное распределение пор на поверхности алюминия случайно, хаотично и не подчиняется упорядочению. Одновременно с ростом пор на внешней поверхности на границе раздела металл–оксид начинает расти новый слой оксида, отдельные ячейки которого имеют вид полусферы.

Вначале на поверхности металла возникают отдельные ячейки. По мере роста напряжения формовки между имеющимися ячейками начинают образовываться новые ячейки, постепенно заполняя всю поверхность металла. Очевидно, что самые первые ячейки с полусферическим основанием не могут расти безгранично, так как размеры ячейки будут определяться приложенным напряжением и проводимостью пленки. Но в начальный момент размеры ячеек

будут различаться, так как ячейки, возникшие позже, будут иметь меньше времени для роста, а центры ячеек будут расположены хаотично. После того, как отдельные ячейки сомкнутся и покроют всю поверхность металла, возможным останется рост каждой ячейки только в глубину. В этих условиях ячейки, имеющие меньшую полусферу в основании (запоздавшие), будут иметь большую возможность для роста, так как имеют меньшую толщину барьерного слоя. Следовательно, они будут выравнивать свои размеры за счет остальных (соседних), т.е. процесс образования строго упорядоченной ячеистой структуры состоит в перестройке самих ячеек в период роста.

Таким образом, через несколько секунд (в порообразующем электролите) на поверхности металла вырастает барьерная пленка, внешний слой которой в результате воздействия электролита постепенно и непрерывно превращается в пористый оксид. Через поры осуществляется подход электролита к барьерному слою и таким образом поддерживается возможность дальнейшего формирования новых слоев оксида.

Рост и растворение оксида определяются (и усиливаются) локальным увеличением поля на дне пор. Этот механизм считается в настоящее время наиболее приемлемым. Для того чтобы объяснить тот факт, что поры возникают не сразу, а как только будет достигнута некоторая критическая толщина барьерного слоя, Гоар и Яхалом предположили, что для формирования пор необходимо проникновение в оксид протона, который участвует в реакции растворения против анодного поля. А это возможно при

уменьшении этого поля до некоторой характеристической величины (т.е. до достижения некоторой критической толщины барьерного слоя на дне поры).

Исследования показали, что и барьерные, и пористые пленки развивают ячеистую структуру только по истечении некоторого времени (t_{\min}), при котором ток имеет минимальное значение в режиме постоянного напряжения. В порообразующих электролитах это время равно примерно 2с, в 3%-м растворе тартрата аммония ($\text{pH} = 5,5$) $t_{\min} = 12$ мин, а в том же электролите ($\text{pH} = 7,0$) – 90 мин. В порообразующих электролитах минимум плотности тока в точке t_{\min} соответствует началу формирования пор. Последующее увеличение тока ($U_f = \text{const}$) отражает погружение барьерного слоя на дно пор по мере их роста. Дальнейшая стабильность тока означает стабильность роста барьерной пленки (с постоянной анодирования $\sim 1,0$ нм/В), и поры растут (развиваются) преимущественно в пленке, а не за счет подложки (металла). По мере роста пор более развитые поры поглощают соседние, образуя новые поры [7].

1.3 Получение АОА

В настоящее время для получения анодного оксида алюминия в основном используется метод вторичного анодного окисления, предложенный Масудой в 1995 г. [8]. Этот метод более однороден и упорядочен, чем пленка, полученная методом первичного анодного окисления, поэтому он широко изучен и применяется во всем мире. Этот метод в основном делится на три части: предварительная обработка, анодное окисление и последующая обработка.

1.3.1 Стадия предварительной обработки

(1) Резка: нарежьте алюминиевый лист на алюминиевую полосу шириной 3 см. Поскольку алюминиевая полоса будет слегка изгибаться в месте резки во время процесса резки, необходимо расплющить обе стороны алюминиевой полосы и подготовить для высокотемпературного отжига;

(2) Отжиг: чтобы устранить внутреннее напряжение алюминиевого листа и сделать подготовленную пленку более однородной и упорядоченной, мы выполняем обработку отжигом на вышеупомянутой вырезанной алюминиевой полосе. Поднять температуру в печи до 400 ° C и выдержать 2 ч. После охлаждения печи до комнатной температуры вынуть образец. Перед отжигом газ аргон выпускали в течение 15 минут, чтобы перевести печь в атмосферу инертного газа. В процессе отжига убедитесь, что давление воздуха в печи составляет от 0,03 до 0,05 МПа;

(3) Резка: нарежьте алюминиевую полосу на небольшой круг диаметром 3 см, а затем аккуратно распрямите алюминиевый лист, чтобы предотвратить повторную концентрацию напряжения. Вы также можете повторить отжиг один раз;

(4) Ультразвуковая очистка: очистите алюминиевый лист ультразвуком в растворе ацетона в течение 3 минут, чтобы удалить масляные пятна. Затем промойте деионизированной водой и очистите ультразвуком абсолютным этанолом в течение 3 минут, чтобы удалить остатки раствора ацетона с алюминиевого листа;

(5) Раскисленный слой: чтобы удалить оксидный слой, образованный алюминиевым листом в его естественном состоянии, алюминиевый лист замачивают в 0,1 М растворе гидроксида натрия примерно на 5 минут, пока не появятся пузырьки и поверхность алюминиевого листа не изменится. белый., а затем несколько раз промойте деионизированной водой. Если стирка не чистая, в последующем процессе полировки будет происходить кислотно-щелочная нейтрализация, что серьезно скажется на качестве полировки;

(6) Электрохимическая полировка: используйте смесь хлорной кислоты и абсолютного этанола с объемным соотношением 1: 4 в качестве полировальной жидкости и выполните электрохимическую полировку в встроенном стеклянном цилиндре. Поместите встроенную стеклянную банку в ледяную воду, чтобы обеспечить низкотемпературное состояние полировальной жидкости. Во время процесса полировки алюминиевый лист подключается к положительному полюсу источника питания в качестве анода, а угольный стержень подключается к отрицательному полюсу в качестве катода. Полировка при стабильном постоянном напряжении 20 В до тех пор, пока поверхность алюминиевый лист имеет металлический блеск около 3,5 минут;

(7) Очистка: полированный алюминиевый лист обрабатывали ультразвуком в ацетоне, деионизированной воде и абсолютном этаноле в течение 3 минут для удаления остаточной хлорной кислоты с поверхности алюминиевого листа и сушили для последующего использования. В процессе

чистки следите за тем, чтобы алюминиевые листы не терлись друг о друга, чтобы избежать повторного трения царапин на полированной поверхности.

1.3.2 Стадии анодирования

(1) Первичное окисление: поместите предварительно обработанный алюминиевый лист в самодельную электролитическую ячейку, алюминиевый лист и медный электрод находятся в тесном контакте с полированной поверхностью, обращенной наружу, и прижмите его кислотостойкой уплотнительной резиновой прокладкой. (заказ - резиновая прокладка, алюминиевый лист, медный электрод) для предотвращения коррозии медного электрода кислотным раствором. После заливки раствора проверьте, есть ли пузырьки в пространстве над алюминиевым листом. Если есть пузырьки, медленно наклоните электролитическую ячейку, чтобы вытеснить их, иначе пузырьки будут препятствовать реакции. Подключите медный электрод к положительному полюсу источника питания, а угольный стержень - к отрицательному полюсу источника питания. Во время процесса реакции электролитическая ячейка помещается в холодильник, и температура реакции регулируется, чтобы гарантировать, что реакция протекает медленно, чтобы образованная оксидная пленка была более однородной и упорядоченной. Позвольте алюминиевому листу прореагировать в течение определенного времени под определенным напряжением с образованием оксидной пленки;

(2) Удаление первичной оксидной пленки: погрузите первичный оксидный лист алюминия в смешанный раствор, чтобы убедиться, что первичная оксидная пленка может полностью контактировать со смесью фосфохромовой кислоты, пока первичная оксидная пленка полностью не прореагирует и поверхность не приобретет металлический блеск. Этот процесс длится около 12 часов при комнатной температуре, и его также можно проводить на водяной бане с температурой 60 °C в течение примерно 2–3 часов. Цель удаления первичной оксидной пленки - оставить упорядоченные ямки на дне первичной оксидной пленки, чтобы поры, выросшие в результате вторичного окисления, были параллельны и упорядочены;

(3) Вторичное окисление: процесс вторичного окисления в основном такой же, как и первичное окисление. В общем, реакционный раствор, температура реакции и реакционное напряжение неизменны, но время реакции больше, чем у первичного окисления.

1.3.3 Этап постобработки

В соответствии с различными последующими экспериментами и тестами после приготовления пленки будут задействованы различные последующие обработки, включая этап 14 понижения и удаления алюминиевой основы, которые будут представлены отдельно ниже.

(1) Понижающее значение: чтобы уменьшить толщину барьерного слоя и подготовиться к электроосаждению, в конце процесса вторичного окисления не

отключайте питание немедленно, а вручную регулируйте падение напряжения. частота 1 В / мин или 2 В / мин;

(2) Удаление алюминиевой основы: используя принцип замещения, насыщенный хлорид меди падает на обратную сторону алюминиевого листа, чтобы начать реакцию замещения. После завершения реакции образовавшаяся элементарная медь очищается, а насыщенный хлорид меди удаляется. продолжали добавлять по каплям. Повторение описанного выше процесса полностью удалит алюминиевую основу [9].

1.4. Анодирование других металлов

Титан, как и его сплавы, является одним из наиболее привлекательных материалов для биомедицинских применений, прежде всего в имплантологии. Технический титан (ВТ-1.0) считается идеальным биосовместимым металлическим материалом, в основном благодаря хорошим механическим свойствам и стабильному и инертному оксидному слою, присутствие которого препятствует выходу ионов металла, которые могут вызвать аллергические реакции.

Актуальным направлением исследований является формирование наноструктурированных пленок TiO_2 , что возможно различными методами. С использованием гидротермального синтеза формируются нанокристаллические TiO_2 , как в виде агломератов наночастиц, так и в виде нанотрубок [11].

В 1999 г. Цвиллинг и др. [12] впервые сообщили о получении пористых пленок TiO_2 на основе анодирования металлического листа титана при низком напряжении. В 2001 г. Гонг и др. [13] использовали электролит, содержащий плавиковую кислоту для дальнейшего получения однородный порядок. Благодаря широкозонным полупроводниковым свойствам массивов нанотрубок TiO_2 , широко используется в оптоэлектронных устройствах и фотокатализе [14]. После тщательного изучения этих двух пленок можно обнаружить, что пористая пленка из оксида алюминия и пористая пленка из оксида титана имеют большое сходство по структуре, а также процесс получения электрохимического анодирования и соответствующий механизм формирования пленки. общность.

Пористые мембраны из оксида алюминия и оксида титана, полученные путем анодирования, имеют сходную структуру. Хотя порядок пористой мембраны из оксида титана немного хуже, диаметр пор оксида титана также больше, но независимо от того, относится ли он к оксиду алюминия. также пористая мембрана из оксида титана, и ее размер пор, плотность пор, длина трубки и т. д. можно регулировать с помощью таких параметров, как раствор для анодирования и напряжение окисления [15]. Среди них размер пор и плотность пор можно регулировать в основном с помощью напряжения или тока анодирования [16-18], а длину трубки нанотрубок можно регулировать по времени окисления [15,19].

2. Методика эксперимента и расчета

2.1 Термическая обработка алюминиевых пластин А99

В качестве образцов для барьеров роста или пористых анодных пленок мы использовали первичный алюминий высокой чистоты 99,97% (А99) в виде пластин различной толщины. Состав приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Химический состав алюминия первичного А99 по ГОСТ 11069-74, %

Марка	Al, не менее	Примесь, не более						
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Прочие	Сумма
А99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,010

Температура плавления алюминия составляет 660 °С. Отжиг алюминиевой пластины проводят в муфельной печи на воздухе при 400 °С в течение 4 часов, что помогает снять остаточное напряжение в металлической структуре и повысить ее износостойкость.

2.2 Электрохимическая полировка алюминиевых пластин

Электролитическая полировка — это электрохимический процесс, при котором материал может удаляться из металлических заготовок. Благодаря выравниванию мелких пятен и углублений для уменьшения шероховатости поверхности и улучшения качества поверхности ее часто называют обратным покрытием. Может использоваться для замены тонкого шлифования и полировки при подготовке микроструктур.

Непосредственно перед процессом анодирования образцы электрохимически полировали при напряжении 12-20 В в растворе H_3PO_4 (85% по объему) + CrO_3 (92 г/л). Использован ИПТ Profigroup в качестве источника

постоянного тока (напряжения) (рисунок 2.1 а). Перед полировкой электролит нагревали до 60 °С в течение одного часа. После нагревания электролита на аноде была установлена алюминиевая пластина для полировки, и тот же чистый алюминий был использован на катоде для уменьшения загрязнения электролита и анода. Чтобы стабилизировать плотность тока в процессе, площадь алюминиевой пластины на катоде больше, чем площадь анода. Продолжали этот процесс, пока на полированном алюминии не появится однородная зеркальная поверхность. Площадь полированного алюминия составляет около 1 см². Схема экспериментального процесса электрополирования показана на рисунке 2.1 б.



Рисунок 2.1. Установка электрохимической полировки; а) источник питания ИПТ «Профигрупп» б) схема установки полирования

Один образец электрополировали при постоянном напряжении 20 В в течение 3 минут. В процессе электрополировки для непрерывного перемешивания используется магнитная мешалка.

После электрополировки образец тщательно промывают дистиллированной водой и сушат в потоке холодного воздуха, а затем хранят в закрытом контейнере до анодирования.

2.3 Экспериментальная установка анодирования

На рисунке 2.2 оказана лабораторная установка для анодирования алюминия. Анодирование проводят в охлаждающей рубашке (со льдом / водой) для поддержания температуры, близкой к 0 °С. Образец помещали на медную пластину, чтобы обеспечить электрический контакт между образцом и источником питания. В качестве катода использовали квадратную платиновую (Pt) пластину 10 × 10 см, погружали в раствор параллельно аноду на расстоянии 10 мм друг от друга. Во время процесса анодирования для непрерывного перемешивания используется магнитная мешалка, так что температура стабильна по объему.

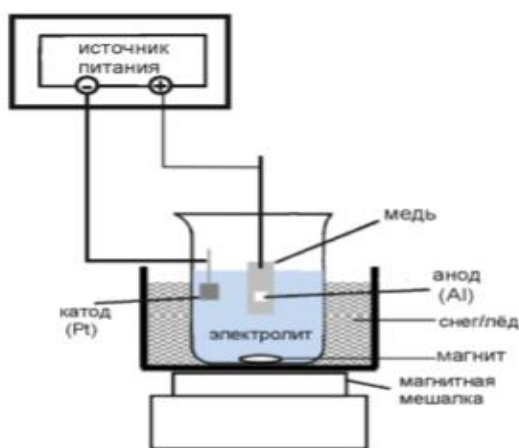


Рис 2.2 Схема экспериментальной установки анодирования

Электролитом служил водный 0,3 М раствор щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ - сильная органическая кислота).

На первом этапе предварительно отполированную алюминиевую пластину анодировали при 0-2 °С в 0,3 М растворе щавелевой кислоты при постоянном напряжении 40–60 В в течение 4 ч. В результате зеркальная поверхность алюминия становилась мутной и покрытой беловатым слоем оксида алюминия. Полученный оксидный слой избирательно удаляли обработкой в водном растворе ортофосфорной кислоты H_3PO_4 (6 мас.%) и хромового ангидрида CrO_3 (1,8 мас.%) при 60 °С. Затем поверхность алюминия, которая была сконструирована на первой стадии и очищена от оксида, была подвергнута второй стадии анодирования. Условия второго этапа такие же, как первого. Характеристики полученных АОА зависят от приложенного напряжения, интенсивности и плотности тока, температуры, типа и концентрации электролита.

2.4 Сканирующая атомно-силовая микроскопия

Атомно-силовые микроскопические исследования рельефа поверхности образцов проводились на сканирующем микроскопе НаноЛаборатория ИНТЕГРА Прима (ОАО "НТ-МДТ") (рис.2.3) в Наноцентре ТПУ, г. Томск.

Использовались алмазоподобные кантилеверы высокого разрешения (NSG01-A) длиной 125 мкм, резонансная частота 87-230 кГц, радиус кривизны иглы составляет 10 нм, силовая постоянная 1,45-15,1 Н/м, длина иглы 14-16 мкм. Размер области сканирования варьировали от 1 до 50 мкм.

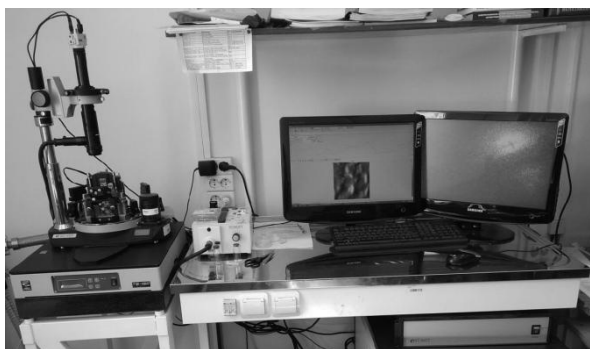


Рис.2.3 Сканирующий микроскоп НаноЛаборатория ИНТЕГРА Прима (ОАО "НТ-МДТ")

Выбирали скорость сканирования и шаг, то есть амплитуду колебаний кантилевера. Фокус на получении самого четкого и самого контрастного изображения AFM. Морфологию образца АОА измеряли полуконтактным методом на воздухе. Морфология образца полированного алюминия измерялась в контактном режиме на воздухе.

Результаты измерений представляют собой двумерные и трехмерные цифровые изображения поверхности. Микрофотографическая обработка включает использование программного обеспечения для анализа стандартных арифметических средних параметров поверхности.

2.5 Растровая электронная микроскопия

Исследования морфологии поверхности и элементного состава покрытий проводили методом РЭМ (растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» Zeiss, Германия, ЦКП ИФПМ СО РАН «Нанотех» г. Томск, рис.2.5). Образцы готовились с помощью вакуумного поста ВУП-4 (рабочий вакуум $5 \cdot 10^{-5}$ тор, ток испарителей 50 А) методом угольных реплик.



Рис. 2.5 Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50» Zeiss, Германия

Исследования проведены в режиме backscattered (CZ BSD) micrograph, и SE (secondary electron) detection для исследования морфологии поверхности (SE) и приповерхностного слоя (BSD).

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании 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 следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков 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.

Целью данной исследовательской работы является разработка двухэтапного процесса анодирования алюминия в лабораторных условиях для создания упорядоченных наноструктур на основе оксида алюминия. Такая система имеет большую удельную поверхность и используется для фильтрации, разделения и катализа.

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Используя метод сегментирования, разделим потребителей разработки о покрытиях различного состава. Основные критерии сегментирования потребителей на рынке разработок покрытия различного состава:

- 1) географический
- 2) отрасль
- 3) размер компании потребителя

Представим характеристику выбранных компаний потребителей нашей разработки.

Компания «Shandong Baxter New Materials » находится КНР, В основном занимается производством и продажей нано-полировальных жидкостей, высококачественных золь кремнезема и неорганических наноматериалов.

Компания «Shanghai Ji Ding Nano Materials», находится в КНР, Специализируется на продаже наноматериалов, химического сырья и продукции.

На основе предложенных стандартов мы построим карту сегментации для разработки наноматериалов различного состава (Рисунок 4.1).

		Виды порошковых материалов			
		Материалы состава	Интернет - каталог	Интернет- магазин	Информационный портал
Размер кампании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок – 4.1 Диаграмма сегментации рынка наноматериалов различного состава



-Фирма А «Shandong Baxter New Materials»

Фирма В «Shanghai Ji Ding Nano Materials»

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке наноматериалов не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок.

Результатом сегментирования должно быть:

- Определение основных сегментов данного рынка;
- Выбор сегмента(ов), на котором(ые) намерено ориентироваться предприятие;
- Выявление сегментов рынка, привлекательных для предприятия в будущем.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

В таблице 4.1.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Срок изготовления	0.09	3	5	4	0,27	0,45	0,36
2. Пористость	0.2	5	4	3	1	0,8	0,6
3. Экологически чистый	0.07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
4. Легко производить	0.07	5	3	5	0,35	0,21	0,35
5. Простота в эксплуатации	0.08	5	5	4	0,40	0,40	0,32
6. Безопасное производство	0.07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0.07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
2. Уровень охвата рынка	0.08	4	4	5	0,36	0,32	0,40
3. Предполагаемая цена	0.07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0.07	4	4	5	0,28	0,28	0,35
6. Срок выхода на рынок	0.6	5	5	3	0,30	0,30	0,18
Итого	1	54	50	51	4,57	4,51	3,89

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

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

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

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что предложенная нами разработка является наиболее актуальной и перспективной, имеет конкурентоспособность.

4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.1.2-4.1.5.

Таблица 4.1.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 4.1.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

		Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	-	-	-	+	-

	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6– Результаты SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья</p> <p>С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции</p> <p>С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками</p> <p>С4. Экологичность технологии</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление</p>	<p>Направления развития</p> <p>В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и</p>

дополнительного спроса на новый продукт В3. Внедрение технологии в производство В4. Участие в грантах В5. Выход на зарубежные рынки	В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	предотвратить появление брака
Угрозы У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	Уязвимости: У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

SWOT-анализа позволил определить факторы отрицательно влияющие на продвижение разработки на рынок. К таким факторам относятся:

- 1) Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях..
- 2) Невысокие объемы производства
- 3) Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования

Отрицательное влияние факторов возможно устранить с помощью внедрения ии уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Основные этап исследования, содержание работ исследования и распределение исполнителей представлены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 -Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	научный руководитель
Теоретические и	5	Планирование эксперимента	инженер, научный

экспериментальные исследования			руководитель
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов исследования	инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для оценки трудоемкости проводимых работ представим расчет показателей: трудоемкость, продолжительность одной работы, календарный коэффициент

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мин i} + 2t_{маx i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{мини}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

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

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2– Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни					
	Руководи тель	инженер	Руководи тель	инженер	Руководи тель	инженер	Руководи тель	инженер	Руководи тель	Инженер
Составление и утверждение технического задания,	4	0	8	0	5.6	0	6	0	8	0

утверждение плана-графика										
Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	2	2	1.4	1.4	1	1	1	1
Обзор научной литературы	0	15	0	30	0	21	0	21	0	32
Выбор методов исследования	5	0	8	0	6.2	0	6	0	9	0
Планирование эксперимента	4	1.5	6	3	4.8	2.1	2	1	4	2
Проведение эксперимента	0	15	0	20	0	17	0	17	0	26
Анализ полученных результатов исследования	2	2	4	4	2.8	2.8	1	1	2	2
Оценка эффективности результатов	0.5	0	1	0	0.7	0	1	0	1	0
Составление пояснительной записки	0	1.5	0	2	0	1.7	0	2	0	3

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3-Диаграмма Ганта.

№	Вид работ	Исп	Продолжительность работ											
			февр			март			апр			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	руководитель												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	руководитель инженер												
3	Обзор научной литературы	инженер												
4	Выбор методов исследования	руководитель												

№	Вид работ	Исп	Продолжительность работ														
			февр			март			апр			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
5	Планирование эксперимента	руководитель инженер			■												
6	Проведение эксперимента	инженер				■	■	■	■	■	■						
7	Анализ полученных результатов исследования	руководитель									▨						
8	Оценка эффективности результатов	руководитель									▨						
9	Составление пояснительной записки	инженер										■					

Примечание:

▨ – научный руководитель – инженер ■

Для выполнения лабораторной работы продолжительность составляет 87 дней. Общее количество календарных дней инженера -66 дней, Общее количество календарных дней руководителя-25дней.

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 – Стоимость материалов

Наименование	Количество	Цена	Итого затраты, руб.
пластина алюминия	1	88руб/кг	88
перчатки	1	695/уп	695
электропровод	1	60руб/м	60
щавелевая кислота	1	165/кг	165
гидратированный сульфат кобальта	1	680/кг	680
Ортофосфорный кислота 85%	2	280руб/л	560
маска	50	5/шт	250
Итого:			2349руб.

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Амортизация оборудования является важной проблемой в ходе исследования. При приведении экспериментов необходимо использованы специальные экспериментальные оборудования, в оборудовании появляется амортизация после длительной работы.

В таблице 4.2.5 представлены информация оборудования затраты на оборудования.

Таблица 4.2.5-Затраты на оборудование.

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	электрический источник питания	1	10	25000	25000
2	электрическая мешалка	1	5	2000	2000
3	атомная силовая микроскопия	1	10	4500000	4500000
Итого:					4527000 руб.

Рассчитывали амортизацию с помощью следующие формулы :

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4)$$

где I – итоговая сумма, руб.; m – время использования, мес.

Число проработанных месяцев n берем из расчета того, что на НТИ инженером было затрачено 1368 ч = 1,9 месяца.

Расчет амортизации для электрического источника питания следующим, срок полезного использования 10 :

$$H_{Ai} = 1/10 = 0.1$$

Расчет амортизации для электрической мешалки следующим, срок полезного использования 5 лет:

$$H_{Am} = 1/5 = 0.2$$

Расчет амортизации для атомной силовой микроскопии следующим, срок полезного использования 10:

$$H_{Am} = 1/10 = 0.1$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

электрический источник питания:

$$A_i = (H_{Ai} \cdot I) / 12 = (25000 \cdot 0.1) / 12 \cdot 1.9 = 395.82 \text{ руб.}$$

электрическая мешалка:

$$A_m = (N_{AM} \cdot I) / 12 = (2000 \cdot 0.2) / 12 \cdot 1.9 = 63.34 \text{ руб.}$$

атомная силовая микроскопия:

$$A_m = (N_{AM} \cdot I) / 12 = (4500000 \cdot 0.1) / 12 \cdot 1.9 = 71250 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A_c = 395.82 + 63.34 + 71250 = 71709.16 \text{ руб.}$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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 $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{осн} \cdot T_p, \quad (5)$$

где $Z_{осн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{осн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (6)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{он} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (7)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_0) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (8)$$

- для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_0) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (9)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_0 – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.2.6 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.2.7 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	$k_{пр}$	k_0	k_p	$Z_m, \text{руб}$	$Z_{он}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{ост}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	25	53682,5
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	66	115044,6
Итого:								168727,1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 53682,2 = 8052,33 \text{ руб.} \quad (10)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 52293 = 17256,69 \text{ руб.} \quad (11)$$

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

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (53682,5 + 8052,33) = 18520,449 \text{ руб.} \quad (12)$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (115044,6 + 17256,69) = 39690,387 \text{ руб.} \quad (13)$$

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).

4.2.3.5 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проекторочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (\text{сумма}) \cdot K_{нр} \quad (14)$$

$$=(71709+2349+168727.1+8052.33+17256.69+18520.449+39690.387)*0.2=6526$$

1 руб.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Получение керамических нанопористых мембран методом анодирования алюминия» по форме, приведенной в таблице 4.2.8.

Таблица 4.2.8– Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
71709	2349	168727	25309	58211	326305	65261	391566

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как

знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Комплексные показатели финансового развития определяются как:

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (15)$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$I_{финр1} = 391566/400000 = 0.98$ - интегральный финансовый показатель НИР

$I_{финр2} = 395000/400000 = 0.99$ - интегральный финансовый показатель Anodisc

$I_{финр3} = 400000/400000 = 1$ - интегральный финансовый показатель Sterli tech

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.3.1).

Таблица 4.3.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Срок изготовления	0.15	5	4	4
2. Пористость	0.2	4	5	5
3. Экологически чистый	0.3	4	3	5
4. Легко производить	0.1	5	4	4
5. Простота в эксплуатации	0.1	5	5	4
6. Безопасное производство	0.15	5	4	5

ИТОГО	1	3,3	4	4,65
-------	---	-----	---	------

Рассчитанная сравнительная ресурсоэффективность разработки

представлена в таблице 17

$$\begin{aligned}
 I_{p-исп1} &= (0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5) = 3.3 \\
 I_{p-исп2} &= (0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4) = 4 \\
 I_{p-исп3} &= (0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5) = 4,65 \quad (16)
 \end{aligned}$$

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

$$I_{исп.i} = I_{p-исп.i} / I_i \quad (17)$$

$$I_{исп.1} = 3.3 / 0.98 = 3.37$$

$$I_{исп.2} = 4 / 0.99 = 4.04$$

$$I_{исп.3} = 4.65 / 1 = 4.65$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.3.2).

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,3	4	4,65
3	Интегральный показатель эффективности	3.37	4.04	4,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,83 Вар. 1/Вар. 3= 0,72	Вар. 2/Вар. 1 = 1,2 Вар. 2/Вар. 3 = 0,87	Вар. 3/Вар. 1 = 1,38 Вар. 3/Вар. 2 = 1,15

$$\text{Вариант 1: } 0.98 + 3.3 + 3.37 = 7.65$$

$$\text{Вариант 2: } 0.99 + 4 + 4.04 = 9.03$$

Вариант 3: $1+4,65+4,65=10,3$

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

Выводы по разделу

1. По сравнению технических решений доказана конкурентоспособность метода темплого синтеза. Путем SWOT-анализ исследованы сильные и слабые данного метода. Это исследование имеет больше преимуществ и возможности.

2. При планировании научно-исследовательских работ выполнена разработка структуры работ в рамках научного исследования, в котором показаны соответствующие исполнители задач. Строили план-график выполнения этапов работ. Путем графика определены следующие факторы: общее количество календарных дней для выполнения работы – 87 дней; общее количество календарных дней инженера – 66; общее количество календарных дней руководителя – 25.

3. Рассчитаны все виды затрат, бюджет научно-технического исследования составляет 391566 руб;

4. По данным полученной эффективности НИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя НИР составляет 0.98, по сравнению с аналогами НИР является финансово выгодной.

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИР составляет 4.65, аналоги составляют 4 и 3.3.

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4.65, аналоги составляют 4.04 и 3.37, показатель эффективности НИР является наиболее высоким, что доказывает, что техническое решение, рассматриваемое в НИР, является оптимальным.