

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Получение водорода из кислотных растворов с использованием каталитических материалов системы W-C

УДК 661.961:54-32-026.741

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM03	Шукюров Ялчын Мушфиг оглы		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шаненков И.И.	К. Т. Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Сайгаш А.С.	К.Т.Н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП ЦИФРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА,
ПРОФИЛЬ «АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»**

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК (У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен создавать цифровые модели энергообъектов, сетевых районов, электротехнических устройств, устройств на базе силовой электроники, систем автоматического регулирования для решения исследовательских и технологических задач, анализировать процессы и интерпретировать результаты
ПК (У)-2	Способен применять нормативно-техническую документацию для разработки проектной документации и при эксплуатации энергообъектов и электротехнических устройств
ПК (У)-3	Способен выполнять инженерное проектирование энергообъектов и электротехнических устройств с учётом цифровизации электроэнергетики
ПК(У)-4	Способен обеспечивать эффективную эксплуатацию электрооборудования объектов электроэнергетики, включая цифровые подстанции, микропроцессорные защиты и комплексы противоаварийной автоматики, телемеханики

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Литературный обзор; Изучение методик проведения экспериментов; Получение материалов путем плазмодинамического синтеза; Оценка влияния типа прекурсора на продукт плазмодинамического синтеза системы W-C; Исследование электрокаталитических свойств полученных материалов.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рентгеновские дифрактограммы, электронные микроснимки, принципиальные схемы экспериментальных установок, осциллограммы рабочих процессов, снимки просвечивающей электронной микроскопии, графики Тафеля.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>старший преподаватель Черемискина М.С.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.02.2022 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шаненков И.И.	к. т. н.		01.02.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM03	Шукюров Я.М.		01.02.2022 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования Магистратура

Период выполнения весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.02.2022	<i>Литературный обзор</i>	10
01.03.2022	<i>Методики проведения экспериментов</i>	20
04.04.2022	<i>Оценка влияния типа прекурсора на продукт плазмодинамического синтеза системы w-c и исследование каталитических свойств материалов в кислотных растворах</i>	30
15.05.2022	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	20
18.05.2022	<i>Социальная ответственность</i>	20
	<i>Итого</i>	100

СОСТАВИЛ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шаненков И.И.	К.Т.Н.		27.01.2022

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Сайгаш А.С.	К.Т.Н.		27.01.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM03	Шукюров Ялчын Мушфиг оглы

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Получение водорода из кислотных растворов с использованием каталитических материалов системы W-C	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и сравнительной эффективности различных вариантов исполнения
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<p>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</p> <p>2. Матрица SWOT</p> <p>3. График проведения и бюджет проекта</p> <p>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.02.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		02.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM03	Шукюров Ялчын Мушфиг оглы		02.02.2022

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5AM03	ФИО Шукюров Ялчын Мушфиг оглы		
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Получение водорода из кислотных растворов с использованием каталитических материалов W-C	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения 	<p><i>Объект исследования <u>методика</u></i> <i>Область применения <u>электроэнергетика</u></i> <i>Рабочая зона: <u>лаборатория</u></i> <i>Размеры помещения <u>40 м²</u></i> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны <u>слесарный верстак, металлорежущий станок, установка для исследования</u></i> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне</i> <i><u>Измерение показателей, очистка поверхностей установки, проведение экспериментов</u></i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"; – ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения). - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень вибрации; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 5. Недостаточный уровень освещенности. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поражение электрическим током;

	<p>2. Механические травмы вследствие движения машин и производственного материала. Требуемые средства индивидуальной защиты:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Халат; 2. Перчатки; 3. Очки защитные; 4. Противошумные наушники. <p>Расчеты по уровню шума и освещению одной из комнат лаборатории.</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения:</u></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Воздействия на литосферу: выброс отходов испытаний (металлическая крошка, реагенты и т.д.); 2. Воздействия на гидросферу: утилизация использованных кислотных растворов; 3. Воздействия на атмосферу: выделение вредных газов в ходе проведения экспериментов.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения:</u></p>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, землетрясение, разрушение здания. Наиболее типичная ЧС: пожар, возгорание.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ03	Шукюров Ялчын Мушфиг оглы		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 97 страниц, 23 рисунка, 21 таблицу, 43 источника, 2 приложения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, водородная энергетика, синтез, электрокатализ, электрокаталитические свойства материалов, карбид вольфрама, коаксиальный магнитоплазменный ускоритель, социальная ответственность.

Объект исследования – карбид вольфрама.

Цель работы: одностадийное получение каталитически активного карбида вольфрама методом плазмодинамического синтеза и исследование его электрокаталитических свойств.

В процессе исследования были изучены методика получения каталитически активного карбида вольфрама, а также методика анализа электрокаталитических свойств материала.

В результате были синтезированы материалы, имеющие разнообразный фазовый и гранулометрический состав. Данные материалы в дальнейшем были использованы в сравнительных электрокаталитических исследованиях.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В разделе приведены все сокращения графические обозначения, используемые при выполнении магистерской диссертации

Сокращения

ТЭС – тепловая электрическая станция;

ООН – Организация Объединенных Наций;

РКИК – Рамочная конвенция ООН об изменении климата;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ПЭС – приливная электростанция;

ВЭУ – ветроэлектрическая установка;

ГеоТЭС – геотермальная электростанция;

ЕНЭ – емкостной накопитель энергии;

КМПУ – коаксиальный магнитоплазменный ускоритель;

КР – камера-реактор;

ДН – делитель напряжения;

УР – управляемый разрядник;

ГИ – генератор импульсов.

Оглавление

РЕФЕРАТ	9
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	10
ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Возобновляемые источники энергии	15
1.2 Водородная энергетика	17
1.3 Проблема недостатка водорода	19
1.4 Электродкатализ.....	21
1.5 Методы получения карбида вольфрама WC	23
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	25
2.1 Описание системы	25
2.2 Устройство и принцип действия ускорителя (КМПУ)	26
2.4. Методика исследования синтезированных материалов.....	31
3. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТИПА ПРЕКУРСОРА НА ПРОДУКТ ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ W-C И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В КИСЛОТНЫХ РАСТВОРАХ	40
3.1 Плазмодинамический синтез карбида вольфрама с использованием разных типов прекурсоров	40
3.2 Исследование электродкаталитических свойств карбидов вольфрама в кислотных растворах	50
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	55
4.1 Предпроектный анализ	56
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.3 SWOT-анализ	58
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	59
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	60
4.2 Инициация проекта	61

4.3	Планирование управления научно-техническим проектом	63
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	63
4.3.2	План проект	63
4.4	Бюджет научного исследования.....	64
4.5	Организационная структура проекта	68
4.6	План управления коммуникациями проекта.....	68
4.7	Реестр рисков проекта	68
4.8	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	69
4.8.1	Оценка абсолютной эффективности исследования	69
4.8.2	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	72
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	76
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
5.2	Производственная безопасность	79
5.2.1	Анализ вредных факторов, оказывающих влияние на персонал.....	80
5.2.2	Анализ опасных факторов, оказывающих влияние на персонал.....	87
5.3	Экологическая безопасность.....	89
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	94
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	97
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	101
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	112

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть электроэнергии в мире (примерно 80%) вырабатывается при помощи традиционных источников, основанных на использовании углеводородного сырья. И всё бы ничего, но последствия такого способа генерации очень серьёзны. Помимо того, что запасы природных ресурсов истощаются и по самым пессимистическим прогнозам их хватит ещё на 30-40 лет, их ограниченность приводит к постоянному росту стоимости энергии.

Но главной проблемой и недостатком традиционных источников энергии является загрязнение окружающей среды и повышение температуры. Производимая и потребляемая электроэнергия в конечном счете переходит в тепло, выделяемое в окружающую среду, которое составляет примерно 0,025% от тепла, поглощаемого планетой Земля. И, казалось бы, эта цифра ничтожно мала, но данное выделяемое тепло распределено неравномерно, из-за чего в некоторых точках планеты (например, в местах расположения ТЭС) количество выделяемого тепла намного больше и достигает 0,5% по сравнению с поступающим теплом солнца, что может значительно повлиять на тепловой баланс. Последствия изменения теплового баланса носят катастрофический характер. Так, при повышении температуры приземного слоя атмосферы на 1 градус границы климатических зон будут нарушены. При повышении температуры уже на 3 градуса начнется таяние ледников, что повлечёт за собой потопления. Предполагается, что глобальное потепление может привести к изменению океанских течений и начнется своего рода цепная реакция изменения климата Земли [1].

В результате работы тепловых электростанций в атмосферу наиболее интенсивно по сравнению с другими газами выбрасывается углекислый газ CO_2 . Углекислый газ формально не является вредным выбросом, поскольку не вступает в фотохимические реакции и не образует смога, а при определенных концентрациях даже оказывает положительное воздействие на

флору. Однако двуокись углерода является хорошим поглотителем инфракрасного излучения и повышает температуру атмосферы.

Получается, что при дальнейшем использовании традиционных источников энергии ситуация будет ухудшаться и в конечном итоге может привести к глобальным климатическим проблемам. Поэтому необходимо предпринимать серьезные меры по сокращению выбросов парниковых газов.

Так, 12 декабря 2015 года было принято Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции об изменении климата (Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change) [2]. Его поддержали 197 стран, входящих в РКИК. Главной целью данного соглашения было удержание потепления в пределах 1,5 °С и недопущение превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 году более чем на 2 °С от доиндустриального уровня. Выполнение поставленных целей для стран участников соглашения подразумевало планомерное уменьшение выбросов CO₂ и метана в атмосферу. Для этого было необходимо к 2020 году разработать стратегию перехода на безуглеродную экономику.

В конце 2021 года в Глазго прошла 26-я конференция Организации Объединённых Наций (ООН) по изменению климата. По итогам был принят Климатический пакт Глазго (Glasgow Climate Pact) [3], в котором говорится о сокращении использования угля в энергогенерации и снижении выбросов парниковых газов. Климатический пакт гласит, что для достижения «цели 1,5 градуса Цельсия» потребуются сократить общемировые выбросы углекислого газа на 45% к 2030 году относительно уровня 2010-го и довести чистые выбросы до нуля примерно к середине текущего столетия [3]. Помимо этого, в ходе данной конференции часть стран подписала соглашения о переходе к «чистой энергии», под которой подразумеваются возобновляемые источники энергии, сокращенно ВИЭ.

Таким образом, главным решением всех перечисленных ранее проблем является переход к возобновляемым источникам энергии.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Возобновляемые источники энергии

Под возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) имеются ввиду энергоресурсы постоянно существующих природных процессов на планете, а также энергоресурсы продуктов жизнедеятельности биоценозов растительного и животного происхождения [4].

Классифицируют ВИЭ по следующим видам энергии:

- механическая (энергия ветра, потоков воды);
- тепловая и лучистая (энергия излучения солнца и тепла Земли);
- химическая (энергия, заключенная в биомассе) [4].

Рассмотрим подробнее основные из них

1) Энергию ветра люди начали использовать ещё задолго до открытия электричества. При помощи неё качали воду и мололи зерно, а самое главное – управляли суднами.

На сегодняшний день суммарная мощность всех ветрогенераторов составляет порядка 700 гигаватт. Нередко ветряные электростанции являются основным источником энергии на территориях, где невозможно построить ГЭС или данное строительство будет нецелесообразно.

Сам по себе ветрогенератор или ветроэлектрическая установка (сокращенно ВЭУ) представляет собой устройство для конвертации кинетической энергии ветрового потока в механическую, а затем – в электрическую. Обычный человек при виде ВЭУ сразу вспомнит вентилятор из-за схожести внешнего виду, только, как правило, ВЭУ будет на порядок больше. Энергия ветрового потока вращают лопасти, которые в свою очередь приводят в движение вал, соединенный с редуктором, а он вращает ротор генератора, благодаря чему и вырабатывается электричество. Мощность такой установки зависит прямо зависит от скорости ветра.

Что касается энергии потоков воды, при помощи них вращаются устройства, похожие на колесо, которые уже непосредственно приводят в

действие генератор, получая в конечном итоге ток. Данный способ генерации уже давно применяется в жизни, таким образом устроены гидроэлектростанции (ГЭС), одной из разновидностей которых являются приливные электростанции (ПЭС). Главной сложностью применения таких электростанций является малое количество подходящих для этого территорий, что характерно и для нашей страны.

2) Самым востребованным среди ВИЭ является энергия солнечных лучей. При помощи панелей, состоящих из тончайших кремниевых пластин (порядка 180 микрон), покрытых фосфором и бором. Так, солнечный свет, попадая на поверхность солнечной батареи, нагревает её и вызывает движение частиц из одного слоя (фосфор – свободные электроны) в другой (бор – «дырки»), благодаря чему образуется ток [5].

Для данных панелей очень важны такие параметры, как высота солнца, территориальный климат и положение солнца относительно места установки.

На сегодняшний день, доля солнечной энергетики по отношению к мировой составляет 1,3%.

Земные недра содержат в себе огромное количество энергии, которая иногда даже вырывается наружу. Всем известные гейзеры и вулканы как раз являются примером выплескивания данной энергии. И на сегодняшний день данный вид энергии также используется для генерации электричества.

Так, пар и вода, извергающиеся из гейзеров, используются для работы геотермальных электростанций (ГеоТЭС) [6]. Глубинные подземные воды обладают высокой температурой и давлением, которые при выходе из скважины направляют на турбины, за счет чего они приводятся в движение и тем самым вращают генератор.

Получается, что применяя ВИЭ снижается негативное влияние на окружающую среду, уменьшаются выбросы парниковых газов и соответственно решается проблема глобального потепления. И всё бы хорошо, но есть свои подводные камни.

При использовании ВИЭ не совсем возможно точно прогнозировать выработку электричества, таким образом выработка электричества носит нестабильный характер, что не позволяет на регулярном уровне обеспечивать потребности населения. Само внедрение установок обходится очень дорого, что сказывается на стоимости вырабатываемого электричества. Также, при выходе оборудования из строя и его утилизации, наносится огромный вред экологии.

Таким образом, переход на ВИЭ лишь частично решает проблему загрязнения окружающей среды, так как он не способен полностью покрыть потребности населения в электроэнергии, а соответственно уйти от традиционной энергетики будет попросту невозможно. И, на мой взгляд, решением данной проблемы является водородная энергетика.

1.2 Водородная энергетика

Водород является идеальным источником энергии, так как обладает большой теплотой сгорания, которая в несколько раз выше, чем у нефти, газа и угля. В мире три основных источника выбросов, способствующих потеплению климата: транспорт, производство электроэнергии и промышленность. Водород может использоваться во всех трех областях. При использовании в топливных элементах водородная энергия оставляет минимальные потери, а после использования в качестве побочного продукта остается только вода, из которой снова можно добывать водород.

Преимуществами водородной энергетики является энергоэффективность, высокая применимость, экологичность и безграничность запасов водорода. Благодаря водородной энергетике возможно улучшить электрификацию транспорта, а именно увеличить запас хода автомобиля в несколько раз по сравнению с литий-ионными, ускорить процесс заправки, а также позволить работать при жёстких климатических

условиях. Объясняется это высокой плотностью энергии водородного топлива. Водородные топливные элементы обладают КПД порядка 65% [7].

Все чаще водород используют в автономных источниках электроэнергии мощностью от одного до нескольких тысяч кВт. Портативные приборы и аккумуляторы, резервные генераторы, системы энергообеспечения собственных нужд различных энергоустановок, робототехника, беспилотные аппараты, энергетические установки, генераторы для постоянного снабжения теплом и электричеством частных домов — все это потенциальные потребители водорода.

Благодаря электростанциям, работающим на водороде можно обеспечить децентрализованное энергоснабжение различных удаленных районов, да и в целом городов. Сегодня обесточить город не является проблемой, достаточно оборвать несколько проводов ЛЭП. Водородная энергетика позволит сделать системы электроснабжения намного надежнее и дешевле. К примеру, водородная мини-электростанция будет вырабатывать определенное количество энергии, необходимое потребителю, которое будет расходоваться без потерь в линиях электропередач.

Водород уже вовсю используют для увеличения глубины переработки, улучшения характеристик нефти, очистки нефтепродуктов от сернистых загрязнений, производства широкой номенклатуры нефтепродуктов: топлив, масел, смазок.

В США, Японии и скандинавских странах от энергоустановок с водородными топливными элементами (мощностью более 1 МВт) питают большие бизнес-центры, госпитали, жилые здания. В Японии действует целая госпрограмма создания бытовых автономных водородных станций — в стране их уже несколько тысяч. Также японцы работают над программой широкомасштабного использования водорода, прежде всего посредством модернизации энергетического сектора и увеличения числа электростанций, работающих на водородном топливе.

Наша страна также не остается в стороне. 5 августа 2021 года Правительством Российской Федерации была утверждена Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации, направленная на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также вхождение страны в число мировых лидеров по его производству и экспорту. Реализовать поставленные задачи планируют к 2050 году [8].

1.3 Проблема недостатка водорода

Однако водородная энергетика обладает и недостатками, главный из которых – отсутствие водорода в чистом виде.

Водород является самым лёгким и распространенным химическим элементом на нашей планете. Однако в чистом виде его практически не существует. Объясняется это тем, что водород достаточно активно формирует ковалентные связи, из-за чего мы встречаем его только в связанном с другими атомами состоянии, самым ярким тому примером является вода и воздух.

Основными методами получения водорода являются [9]:

- паровая конверсия метана и природного газа;
- газификация угля;
- пиролиз;
- электролиз воды;
- фото и электрокатализ.

Метан является основным компонентом природного газа, его концентрация составляет от 77 до 99%. Сам по себе метан состоит из четырех атомов водорода и одного атома углерода. Процесс отделения водорода производится в трубчатых печах при высоких температурах, порядка 750-850°C. Но в результате реакции помимо водорода образуется и углекислый газ, избавиться от которого и пытаются путем применения водородной

энергетики. Хотя способ паровой конверсии и является самым дешевым, главной задачи – сохранение окружающей среды, он не выполняет.

Газификация угля является старейшим способом добычи водорода. При одновременном воздействии на уголь водяным паром и кислородом, происходит термическое разложение воды, а сам уголь выступает в роли химического реагента и энергоресурса за счет углерода, который вступает в реакцию с кислородом, водой и угарным газом. Однако данный способ также не выделяется своей экологичностью, так как в реакции используется уголь, соответственно будут иметь место выделение парниковых газов [10].

Пиролизом называют процесс разложения органики путем термической обработки. В качестве топлива могут служить отходы сельского хозяйства и пищевых производств. Биомассу нагревают без доступа кислорода до 500-800°C и в результате получают метан, оксид углерода и водород, которые образуют синтез-газ. Для того, чтобы добыть водород из синтез-газа можно использовать несколько вариантов, адсорбация, абсорбация, глубокое охлаждение, диффузия через мембраны. Однако при добыче водорода пиролизом всё также выделяются парниковые газы, что говорит о неприменимости такого способа добычи для водородной энергетики [11].

Электролитический метод добычи водорода является наиболее проработанным и изученным на сегодняшний день. Он обладает КПД порядка 90%.

Электролиз — это химическая реакция, заключающаяся в пропускании через вещество электрического тока через погруженные в него электроды. В результате реакции на электродах образуются составные части вещества, в нашем случае водород и кислород. Данный способ прост и удобен в эксплуатации, обладает высокой чистотой производимого водорода. Дополнительно, побочным продуктом является получение кислорода - ценного химического вещества. А самое главное – у данного метода большое будущее [12].

Методов разложения воды для выделения водорода множество электрохимический, термический, фотохимический и электролитический. Наиболее изученным является электролитический метод. Однако данный способ, как и термический, требует огромных затрат на электроэнергию, которая необходима для разрыва связей атомов водорода и кислорода. А получить данную энергию можно в большинстве случаев только традиционными методами сжигания углеводородного топлива, что противоречит нашим целям. Поэтому наибольший интерес вызывают фотохимический и электрохимический методы. На последнем остановимся поподробнее.

1.4 Электрокатализ

Под электрохимическим методом добычи водорода из воды понимают электрокатализ. Электрокатализ — это изменение скорости и/или направления электрохимического процесса, вызванное изменением состава или дисперсности материала электрода либо модифицированием поверхности электрода. Он важен в процессе превращения химической энергии в электрическую и наоборот. По своей сути электрокатализ представляет собой изменение скорости химической реакции при воздействии вспомогательных веществ — катализаторов, которые принимают активное участие в реакции и не расходуются во время её прохождения [13].

В перспективе благодаря электрокатализу можно упростить и удешевить процесс производства водорода. Благодаря введению катализатора процесс будет протекать при меньших температурах и энергозатратах, а соответственно и финансовых затрат на него будет меньше. Также открывается возможность использовать энергию ВИЭ для данной реакции, так как её уже будет достаточно. А в перспективе организовать производства водорода, основанные на электрокатализе, которые будут питаться энергией атомных электростанций, так как на сегодняшний день в

нашей стране они даже не загружены на половину. Таким образом, мы получим экологически чистое производство водорода и недопустим образование парниковых газов.

Однако не все так просто. Дело в том, что из-за низкой кинетики выделения водорода необходимо использовать высокоэффективные электрокатализаторы для увеличения общей эффективности процесса. Драгоценные металлы, в частности, платина, позволяют преодолеть это противоречие, но помимо известных преимуществ, у неё есть существенные недостатки, которые связаны с дороговизной и дефицитностью. Получение недорогих и высокоактивных материалов, которые могут заменить или значительно сократить количество используемых драгоценных металлов, рассматривается как многообещающий способ улучшить как кинетику выделения водорода, так и общую эффективность расщепления воды.

В связи с этим многие недавние работы были сосредоточены на изучении каталитической активности различных неблагородных материалов, включая халькогениды, нитриды, фосфиды и карбиды переходных металлов. Более того, каталитическая активность может быть дополнительно увеличена за счет сочетания этих материалов с углеродными материалами, представленными в различных формах.

Поскольку было предсказано, что карбид вольфрама может иметь свойства, аналогичные металлам платиновой группы, были выполнены обширные исследования его каталитических свойств в чистом виде, в композитах с углеродом, и с небольшими количествами платины. Многие авторы наблюдали увеличение каталитической активности гексагональных карбидов вольфрама WC и W₂C даже при небольшом добавлении Pt в реакциях окисления метанола, реакциях восстановления кислорода, а также в реакции выделения водорода.

В то же время известно, что в системе «вольфрам-углерод» кубическая модификация карбида вольфрама (WC_{1-x}) также может существовать. Согласно теоретическим расчетам, эта фаза может иметь плотность

состояний на уровнях Ферми в 6 раз выше гексагональной и обладать улучшенными каталитическими свойствами. Несмотря на свою термодинамическую нестабильность, WC_{1-x} может существовать при комнатной температуре при кристаллизации из расплава со скоростью кристаллизации $\sim 10^8$ - 10^{11} К/с. Такие условия синтеза ограничивают возможность его получения в чистом виде и изучения каталитических свойств.

Было обнаружено, что даже добавляя 1% платины, можно значительно повысить каталитическую активность композита WC_{1-x}, а с добавлением 10% платины достигаются почти такие же свойства, как для коммерческого образца платины [14]. Однако получить данный материал достаточно сложно.

1.5 Методы получения карбида вольфрама WC

Различают несколько способов получения карбидов вольфрама. Самым распространенным является метод углеродного насыщения [15]. Суть процесса заключается в плавке смеси чистого вольфрама и углерода. Изначально данные порошки смешивают и брикетируют, после чего помещают в печь и прокаливают в водородной среде при температурах свыше 1300°C, благодаря чему происходит процесс карбидизации. Затем полученный карбидный брикет помещают в мельницу и получают порошкообразный карбид вольфрама.

Не менее распространены способы получения карбида вольфрама путем восстановления соединений вольфрама и дальнейшей карбидизацией [16]. В данном случае производится нагрев смеси, содержащей вольфрамовую кислоту и трехокись вольфрама, до 800-1100°C в метано-водородной среде. Данная реакция включает в себя восстановление и карбидизацию вольфрама.

Также получить карбид вольфрама можно путем электролиза солевых расплавов карбоната натрия, фторида лития и трехоксида вольфрама [17].

Тем не менее, все перечисленные методы объединяет одна серьёзная проблема – необходимость использования чистых прекурсоров, а именно вольфрама. Синтез чистого вольфрама включает в себя большое количество этапов - порядка 12. Это обогащение, флотация, магнитная или электростатическая сепарация, разложение, выщелачивание, восстановление и так далее. Все эти процессы трудоёмкие, дорогостоящие и требуют больших энергозатрат, что опять же влечет за собой выбросы углекислого газа и вредит окружающей среде.

В данной работе предлагается использовать метод плазмодинамического синтеза для одностадийного получения каталитически активного карбида вольфрама из рудного концентрата.

Как правило, вольфрамовые руды бедны вольфрамом, вместе с которым в их составе встречаются такие элементы, как молибденит, касситерит, пирит и т.д. Поэтому их обогащают, получая рудные концентраты, содержащие 55-65% триоксида вольфрама. Получают высокую концентрацию вольфрама такими способами, как флотация, гравитация, магнитная и электростатическая сепарация.

Согласно ГОСТ 213-83 [18], вольфрамовые концентраты 1-го сорта должны содержать не менее 65% триоксида вольфрама, в случае 2-го сорта не менее 60%. Содержание примесей в таких концентратах должно варьироваться от сотых долей до 1%.

Таким образом, в данной работе будут решены следующие задачи – одностадийное получение каталитически активного карбида вольфрама методом плазмодинамического синтеза и исследование его электрокаталитических свойств.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Несмотря на отсутствие на сегодняшний день на российском рынке полноценных производителей кубической фазы карбида вольфрама (их в основном получают в лабораторных условиях), спрос на этот материал постоянно растет. Объясняется это принятыми дорожными картами развития водородной энергетики как в России, так и в Евросоюзе, Америке и многих других развитых странах. В приобретении данной технологии могут быть заинтересованы следующие компании:

- «РОСАТОМ» (Россия);
- «Bloom Energy» (США);
- «Royal Dutch Shell» (Нидерланды);
- «ITM Power» (Великобритания).

Основными критериями сегментирования рынка потребителей месторасположение и выпускаемая продукция компаний. На их основании строим карту сегментирования рынка [Приложение А, рисунок А.1]

Таким образом, наиболее привлекательный сегмент рынка – водородное топливо, основным элементом которых является водород.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, представленной в таблице 4.1.1. Для этого рассмотрим несколько конкурентных разработок: дуговой плазменный метод (К1), золь-гель метод (К2).

Анализ конкурентных разработок определяется по выражению (1):

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес i -го показателя; B_i – балл i -го показателя.

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Таблица 4.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{K1}	B_{K2}	K_{ϕ}	K_{K1}	K_{K2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,60
2. Производительность	0,20	4	3	5	0,80	0,60	1,00
3. Простота изготовления	0,10	5	4	3	0,50	0,40	0,30
4. Экологичность	0,15	5	4	3	0,75	0,60	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,20	5	4	3	1,00	0,80	0,60
2. Цена	0,10	4	3	5	0,40	0,30	0,50
3. Качество продукта	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40
Итого	1,0	33	26	27	4,70	3,75	3,85

Таким образом, научная разработка является конкурентоспособной с разработками дугового плазменного метода (К1) и золь-гель метода (К2).

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта [Приложение А, таблица А.1]. Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Эти соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Метод получения катализаторов имеет важные конкурентные преимущества, такие как простота, быстрота, энергоэффективность, экологическая безопасность, низкая себестоимость, которые способны привлечь инвесторов для коммерциализации проекта, выхода на российский и мировой рынок. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

Интерактивная матрица проекта представлена в [Приложение А, таблица А.2]. В данной таблице каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» – если есть сомнения поставить «+» или «-».

Недостатки проекта в основном заключаются в отсутствии 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 обеспечена высококвалифицированными экономистами, это позволит провести исследования рынка, как российского, так и мирового, и

выработать стратегию развития компании. Наличие правильной стратегии позволит нивелировать угрозу неразвитости и монополизированности рынка.

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 и монополизированности рынка.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа [Приложение А, таблица А.3]

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

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта [Приложение А, таблица А.4].

При проведении анализа по таблице [Приложение А, таблица А.1], по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для

оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования. В данном случае для дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки и проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-

технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.2.1).

Таблица 4.2.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Министерство энергетики Российской Федерации	Получение катализатора для экологически чистого способа производства водорода

В таблице 4.2.2 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 4.2.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Синтез кубической фазы карбида вольфрама (WC) плазмодинамическим методом и исследование её электрокаталитической активности
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка метода синтеза кубической фазы WC для добычи водорода из кислотных растворов
Критерии приемки результата проекта:	Определить каталитические свойства полученного катализатора и сравнить их с аналогами
Требования к результату проекта:	Требование:
	Подготовить установку плазмодинамического синтеза;
	Произвести синтез кубической фазы карбида вольфрама;
	Провести исследование электрокаталитических свойств;
	Выявить характеристики, показывающие пригодность полученного материала для производства водорода

В таблице 4.2.3 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 4.2.3 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Шаненков И.И., НИ ТПУ, доцент 0,5 ставки ОГ ИШЭ	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2.	Шукюров Я.М., магистрант ОГ ИШЭ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, подготовка лабораторной установки, синтез материала, анализ лабораторных данных, написание работы	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1719475
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя иерархическую структуру работ проекта, контрольные события проекта, план проекта, бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта [Приложение А, рисунок А.2].

4.3.2 План проект

В начале выполнения научного исследования проводится выявление необходимых видов работ и сроков их выполнения. Назначается ответственный за проведенные научно-исследовательские работы из группы исследователей.

Для выполнения научного исследования собирается группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Перечень работ, сроки выполнения и ответственные за выполнение приведены в [Приложение А, таблица А.5], календарный план-график – в [Приложение А, таблица А.6].

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий, необходимых для выполнения работ по данной теме. Расчет стоимости данных затрат представлен в [Приложение А, таблица А.7]

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР [Приложение А, таблица А.8].

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где: $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в [Приложение А, таблица А.9].

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2020 году без учета РК составил 33664 руб., поскольку руководитель работает на 0,5 ставки, то оклад равен 16832.

Используя перечисленные ранее формулы, произведем расчет основной заработной платы руководителя НТИ:

$$Z_m = Z_6 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 16832 \cdot (1 + 0,2) \cdot 1,3 = 22320 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{22320 \cdot 11,2}{212} = 1180 \text{ руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1180 \cdot 212 = 250160 \text{ руб};$$

Аналогично рассчитаем заработную плату инженера (дипломника):

$$Z_m = Z_6 \cdot k_p = 3100 \cdot 1,3 = 4030 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{4030 \cdot 11,2}{212} = 213 \text{ руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 213 \cdot 212 = 45156 \text{ руб}.$$

Таблица 4.4.1 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	16832	1	0,2	1,3	22320	1180	212	250160
Магистрант	3100	-	-	1,3	4030	213	212	45156

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} * k_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (10%);

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.4.2 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.4.2 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	250160	45156
Дополнительная зарплата	25016	4516
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	275176	49672

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом. Мы же примем ставку 30%.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (250160 + 25016) = 82553 \text{ рублей.}$$

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,8 \cdot (275176 + 49672) = 259879 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта, которые приведены в [Приложение А, таблица А.10], составляют 1719475 рублей.

4.5 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена в [Приложение А, рисунок А.3].

4.6 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.6.1).

Таблица 4.6.1 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.7 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.7.1.

Таблица 4.7.1 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

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

4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в [Приложение А, таблица А.11]. При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации - 10%.

$$NPV = 3202761 - 1719475 = 1483286 \text{ рублей} > 0.$$

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1+i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 784440 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{3202761}{1719475} = 1,86$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $=0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в [Приложение А, таблица А.12, рисунок А.4].

Из таблицы и графика [Приложение А, таблица А.12, рисунок А.4] следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,66, что больше нуля, а значит проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $66\% - 20\% = 46\%$.

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.8.1).

Таблица 4.8.1 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-1719475	1031272	859187	715576	596726
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1719475	-688203	170984	886560	1483286
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1 + (688203/859187) = 1,8$ лет				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.8.2).

Таблица 4.8.2 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие простого и надежного метода синтеза кубической фазы карбида вольфрама	Впервые получен нетрудозатратный способ синтеза чистого карбида вольфрама кубической фазы
Нехватка водорода для производства водородного топлива и перехода на водородную энергетику	Получен способ экологически чистого синтеза катализатора для производства водорода, что позволит ускорить процесс перехода на водородную энергетику и уменьшить затраты на данный процесс

4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.8.3).

Таблица 4.8.3 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Выход продукта	0,20	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,10	4	5	3
3. Надежность	0,20	4	3	4
4. Безопасность	0,15	4	3	5
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	3
6. Энергосбережение	0,20	5	3	4
Итого	1	27	22	23

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,55;$$

$$I_1^A = 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,20 = 3,55;$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,10 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 3,90.$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}; \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.8.4.

Таблица 4.8.4 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,15	0,13	0,14
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,55	3,90
3	Интегральный показатель эффективности	30,33	27,30	27,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,11	1	1,02

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента был составлен перечень работ, сроки выполнения и ответственные за выполнение этих работ (таблица 3.1), построен календарный план-график (таблица 3.2), рассчитан бюджет проекта, который составил 1719475 рубля, определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 1483286 рублей; индекс доходности $PI=1,86$, внутренняя ставка доходности $IRR=35\%$, срок окупаемости $PP_{дск} = 1,8$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.